

# SYMBELT-TELAN KULJETUSALUSTAN TUOTEKEHITYS

Jussi Saastamoinen

Opinnäytetyöraportti  
Huhtikuu 2013

Kone- ja tuotantotekniikka  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) SAASTAMOINEN, Jussi	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 27.04.2013
	Sivumäärä 81	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi SYMBELT-TELAN KULJETUSALUSTAN TUOTEKEHITYS		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MATILAINEN, Jorma KURKI, Matti		
Toimeksiantaja(t) Metso Paper Oy JÄÄSKELÄINEN, Ilkka (ohjaaja)		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä vietiin läpi Metso Paper Oy:n SymBelt-telojen kuljetusalustan tuotekehitysprosessi. Tavoitteena oli aikaansaada kustannustehokas, kansainvälisten kuljetusten vaatimukset täyttävä kuljetusalusta, joka soveltuu kaikkien tämän hetkisten SymBelt-telojen kuljettamiseen. Huomiota tuli kiinnittää myös siihen, että kuljetusalusta on helppo ja nopea viedä suunnittelussa uudelle projektille.</p> <p>Työn toteutus noudatti, teoriapohjan hankkimisen jälkeen, pääpiirteissään kahden eri teoksen pohjalta mukailtua tuotekehitysprosessia. Lähtötietojen kartoittamisen jälkeen edettiin järjestelmällisesti kohti tuotteen viimeistelyä. Lisäksi suunnittelussa otettiin kantaa myös muotoilulliseen näkökulmaan ja turvallisuuteen. Pääasiallisena työkaluna oli kynän ja paperin lisäksi CATIA V5R21 -ohjelmisto, josta erityisesti parametrinen ohjaaminen oli hallitsevassa osassa.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valmistuskustannuksiltaan 26 % asetettua rajaa edullisempi, lujuusvaatimukset täyttävä kuljetusalusta. Pienemmän kokoluokan kuljetusalustassa päästiin 42 % edullisempaan ratkaisuun. Suunnittelun kannalta kuljetusalustaa ohjataan vain kahdella parametrilla, jonka jälkeen se päivittyy projektikohtaiseksi. Näin kustannussäästöjä saatiin myös suunnitteluajassa.</p> <p>Jatkokehityksenä kannattaa tutkia etenkin kuljetusalustan soveltuvuutta muille kuin SymBelt-teloille. Tämä voi olla mahdollista hyvinkin pienin kuljetusalusta- ja telamuutoksien.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Metso Paper Oy, SymBelt, tuotekehitys, kuljetus		
Muut tiedot Liitteet poistettu julkisesta raportista luottamuksellisen tiedon vuoksi.		



Author(s) SAASTAMOINEN, Jussi	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 27042013
	Pages 81	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title PRODUCT DEVELOPMENT OF THE SYMBELT ROLL TRANSPORTING BASE		
Degree Programme Mechanical and Production Engineering		
Tutor(s) MATILAINEN, Jorma KURKI, Matti		
Assigned by Metso Paper Ltd JÄÄSKELÄINEN, Ilkka		
<p>Abstract</p> <p>The subject of this bachelor's thesis was to develop a new transportation device for Metso Paper's SymBelt roll. The goal was to make the product cost-effective and rigid enough to fulfill international transportation demands. The transportation device had to be suitable for all the current SymBelt rolls, and it had to be easy to modify in the 3D environment for new roll projects.</p> <p>The product development process of the SymBelt transporting device followed mainly a combination of two systematic product development processes presented in literature. It started with a clarification of the tasks, and systematically proceeded towards detailed design. The process also had an industrial design point of view, as well as safety and user-friendly points of view.</p> <p>Creative process was mainly done with a pencil and paper. Based on these sketches the 3D-models and FEM analysis were made mainly by CATIA V5R21.</p> <p>The result was a cost-effective and durable transportation device for all SymBelt roll types. In manufacturing costs it was 26% cheaper than the given limit - smaller version even 42% cheaper. Manufacturing costs based on estimates. The 3D-model is driven by only two parameters, so it saves engineering time when designing a new roll project.</p> <p>As a further development possibility one might be interested in modifying the transportation device also for other roll types than SymBelt.</p>		
Keywords Metso Paper Oy, SymBelt, product development, transportation		
Miscellaneous Due to confidential issues, appendices are removed from public report.		

## SISÄLTÖ

1	SYMBELT-KULJETUSALUSTA - TELOJA MAAILMALLE.....	5
1.1	Ajankohtainen tarve .....	5
1.2	Toimeksiantaja - Metso Paper Oy .....	6
1.3	Tavoitteet, aiheen rajausta ja lähestymistapa.....	7
2	SYMBELT-TELA PAPERIKONEESSA .....	8
3	KULJETUKSEN TEORIA .....	11
3.1	Kansainväliset tavarakuljetukset .....	11
3.2	Kuljetusvälineet .....	13
3.3	Tavaralähteyksen merkinnät .....	14
3.4	Sidonnat.....	16
3.5	Nostot kuljetuksessa.....	18
4	TUOTEKEHITYKSEN TEORIA .....	19
4.1	Tuotekehitys yrityksen näkökulmasta - tuotekehitystyyppit .....	19
4.2	Tuotekehitysprosessi .....	20
4.2.1	Tehtävänasettelun selvittäminen .....	21
4.2.2	Luonnostelu .....	22
4.2.3	Kehittely .....	26
4.2.4	Viimeistely .....	30
4.2.5	Järjestelmällisyyden edut.....	31
4.3	Teollinen muotoilu.....	32
5	LUJUUSTARKASTELU KONEENSUUNNITTELUSSA.....	34
6	SYMBELT-TELAN KULJETUSALUSTAN TUOTEKEHITYSPROSESSI.....	39

6.1	Lähtökohdat ja tehtävänasettelun selvittäminen .....	39
6.2	Kuljetusalustan tuotekehityksen luonnosteluvaihe .....	42
6.3	Kehittelyvaihe .....	52
6.4	Kuljetusalustan tuotekehityksen viimeistely .....	64
6.5	Ohjeiden laatiminen .....	66
7	TULOKSET .....	67
7.1	SymBelt-kuljetusalusta .....	67
7.2	Parametrinen 3D-malli ja työpiirustukset .....	69
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	71
	LÄHTEET.....	74
	LIITTEET .....	77
	Liite 1. SymBelt-kuljetusalustan vaatimuslista .....	77
	Liite 2. Lujuuslaskentaraaportti .....	78
	Liite 3. Kiilan lujuuslaskenta Mathcad -ohjelmistolla .....	79
	Liite 4. Parametrien arvot kaarien ohjaukseen .....	80
	Liite 5. SymBelt-telan kuljetusalustan kustannusarvio.....	81

## KUVIOT

KUVIO 1. Metson liikevaihdon jakautuminen asiakasteollisuksittain 2012.....	6
KUVIO 2. Paperikoneen prosessikuvaus. Puristinosa ympyröitynä .....	9
KUVIO 3. SymBelt-telan (ylempi) ja vastatelan muodostama telapari .....	10
KUVIO 4. Kuljetuksen aikaiset rasitukset .....	12
KUVIO 5. Open top -kontti (vas) ja flat rack -alusta .....	13
KUVIO 6. Esimerkki lähetyksen merkinnöistä .....	15
KUVIO 7. Kolmen erityyppisen tuotekehitysprosessin etenemiskaavio .....	20
KUVIO 8. Vaatimuslistan esimerkkirakenne.....	22
KUVIO 9. Esimerkki vertaulutaulukon käytöstä .....	26
KUVIO 10. Viimeistelyn työnkulku .....	31
KUVIO 11. Suorakulmion merkinnät .....	35
KUVIO 12. Taivutuksesta aiheutuvat normaalijännityksen (vasemmalla) ja leikkausjännityksen jakaumat .....	37
KUVIO 13. Design project -opintojaksolla ideoitu kuljetusalusta .....	40
KUVIO 14. Ennen vuotta 2012 suunnitellut SymBelt-kuljetusalustat .....	40
KUVIO 15. Ote SymBelt-telan kuljetusalustan vaatimuslistasta .....	41
KUVIO 16. Aivoriihessä esitelty kuljetusalustan runkokonsepti .....	49
KUVIO 17. Aivoriihessä esiteltyjä telan suojauksen tukirakenteita .....	49
KUVIO 18. Aivoriihen jälkeen kehitelty vääntöjäykempi konsepti.....	51
KUVIO 19. Kuljetusalustan päätytuen ensimmäinen versio .....	52
KUVIO 20. Vanerikaari telan pakkauksen tuentaan .....	53
KUVIO 21. Teräskaariehdotus telan pakkaukseen tuentaan .....	54
KUVIO 22. Akselitapit ja valssatut pannat.....	55
KUVIO 23. Akselitapit kiilamaisesti tuettuna .....	56
KUVIO 24. Kiilan tarkastelua Autodesk Inventor 2013 -ohjelmistolla .....	60
KUVIO 25. Pumppukärärien piikkien mitoitus ja 200x100x5 suorakaideputki. ....	61
KUVIO 26. Akseleiden poikkileikkaukset .....	62

KUVIO 27. Otos erään kaaria määrittävän rulen koodista .....	63
KUVIO 28. Lopullinen kuljetusalusta .....	68
KUVIO 29. Kuljetusalustan 3D-mallin ohjauksen kaksi parametria .....	70

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kuljetusalustan maksimimitat eri kuljetusvälineissä.....	14
TAULUKKO 2. Ajoneuvon sidontapisteiden sallitut vetokuormitukset .....	17
TAULUKKO 3. Kuljetusalustan ideointimatriisi .....	46
TAULUKKO 4. Kaarivaihtoehtojen arviointi .....	54

# 1 SYMBELT-KULJETUSALUSTA - TELOJA MAAILMALLE

## 1.1 Ajankohtainen tarve

Paperikone on osiensa summa. Jokainen näistä osista on toimitettava asiakkaalle, valtaosan asiakaskunnasta ollessa ulkomailla. Kun vielä tiedetään, että paperikoneiden kohdalla puhutaan suurista komponenteista, on selvää, että kuljettaminen on erittäin merkittävässä roolissa paperikoneita toimitettaessa.

Muun muassa paperikoneita valmistavan Metson Paper Oy:n suunnitteleman SymBelt-telan rakennetta on kehitetty vastaamaan kysyntää paremmin. Tämän rakennemuutoksen myötä ei telaa pystytä kuljettamaan totutulla tavalla. Uuden rakenteen omaavat telat tarvitsevat siis uudenlaisen kuljetusalustan, jotta teloja voi ylipäättään asiakkaille toimittaa. Näin ollen onkin selvää, että aihe kumpuaa olemassa olevasta ja ajankohtaisesta tarpeesta.

Jotta tarve saadaan täytettyä, tarvitaan siis uudenlainen tapa kuljettaa telaa. Koska kuljetusyhtiöiden kalusto tai kuljetustavat eivät sinänsä ole kokeneet muutoksia, on kyseessä täysiverinen tuotekehitysprojekti koskien tapaa saattaa tela kuljetettavaksi määräysten mukaisesti. Toisin sanoen, *SymBelt-telan kuljetusalustan tuotekehitys*.

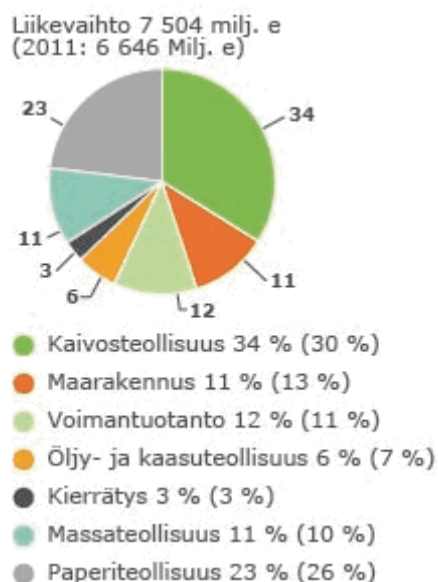
Ajankohtaisen tarpeensa lisäksi aihe on mielenkiintoinen ja haastava. Koska työllä on myös selkeä tarkoitus toimeksiantajalle, lisää se entisestään motivaatiota ja halua näyttää osaamistaan. Kun vielä tuodaan esille se seikka, että aiempi kokemukseni kuljetusalustojen parissa on luonut vahvan pohjan työn tueksi, on helppo ymmärtää valinnan kohdistuneen juuri tähän aiheeseen.



## 1.2 Toimeksiantaja - Metso Paper Oy

Metso Paper Oy on osa kansainvälistä teknologia- ja palvelutoimittajaa Metso Oyj:tä. Metso konserni toimii yli 50 maassa, ja sen 30 000 työntekijästä noin kolmannes työskentelee Suomessa. Konsernin tasolla liikevaihto on noussut vakaasti vuodesta 2009 lähtien, ollen vuonna 2012 n. 7,5 miljoonaa euroa (Metso lyhyesti 2013). Huomionarvoista on myös se, että lähes puolet Metso Oyj:n liikevaihdosta tulee palveluliiketoiminnasta. (Metso - Valmiina tulevaan 2012.)

Erillisten osakeyhtiöiden, kuten Metso Paper Oy, sijaan Metson liiketoiminnan voi ajatella jakautuvan kolmeen segmenttiin. Näitä ovat Kaivos ja maanrakennus, Auto-maatio sekä Massa, paperi ja voimantuotanto, jotka vielä jakautuvat seitsemään asiakasteollisuuteen. Kuviossa 1 on eritelty eri asiakasteollisuuksien liikevaihdon osuudet. Tästä näemme, että paperiteollisuuden osuus on hieman laskenut edellisvuodesta ollen nyt 23 %. Suurimpana asiakasteollisuuden lohkona on kaivosteollisuus hieman yli kolmanneksella koko Metso Oyj:n liikevaihdosta.



KUVIO 1. Metson liikevaihdon jakautuminen asiakasteollisuuksittain 2012 (Metso lyhyesti 2013)

Metso Paper Oy:n teknologinen keskittymä on 60 vuotta paperikoneita toimittanut Jyväskylän Rautpohjan tehdas. Noin 1 700 (perustuu vuoden 2010 tietoihin) työntekijän voimin siellä viedään läpi 20 - 30 paperikone- ja uusintaprojektia sekä lukuisia palvelu- ja varaosatoimituksia vuosittain. Jyväskylässä Metso tunnetaan erityisesti paperikoneita valmistavana konepajana, ja yhtenä suurimmista teollisuuden työllistäjistä. (Rautpohjan perehdyttämisopas.)

### **1.3 Tavoitteet, aiheen rajausta ja lähestymistapa**

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on kehittää uusi kuljetusalusta SymBelt-telojen kansainvälistä toimittamista varten. Sen on sovellettava niin uudelle kuin vanhallekin telarakenteelle, ollen samalla joustava ratkaisu myös mahdollisia uusia muutoksia silmällä pitäen. Yksi päätavoitteista onkin pyrkiä yhtenäistämään kuljetusalustan käyttö mahdollisimman monelle telavariaatiolle - kustannustehokkaasti.

Kuljetusalustan käytön tulee olla yksinkertaista myös asiakasprojekteja suunniteltaessa. Suunnittelijan olisikin pystyttävä muokkaamaan kuljetusalustaa suunnitteluympäristössä helposti ja nopeasti, jotta voidaan minimoida tähän prosessiin käytettävä aika. Parhaimmassa tapauksessa ainoastaan yksittäisiä parametreja muuttamalla ohjattava malli ja valmiina olevat standardiosien työpiirustukset tuovat suoria kustannussäästöjä lyhentämällä suunnittelu-aikaa.

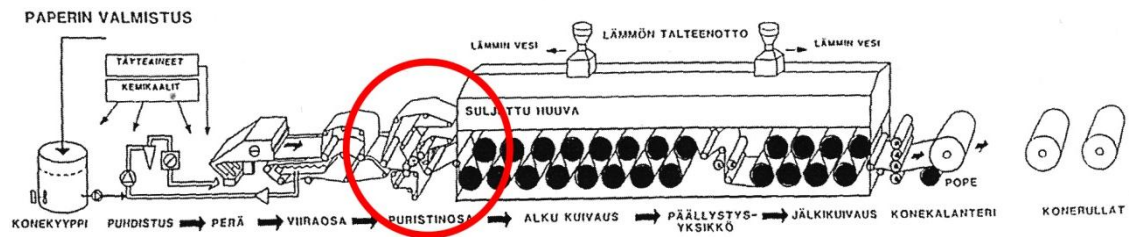
Tuotekehitysprojektiin sisällytetään myös tärkeimpien ohjeistusten laatiminen. Lähiinnä tässä keskitytään kuljetusten aikaisten nostojen ja sidontojen ohjeistukseen, sekä muihin kuljetusta koskeviin merkintöihin. Myös ohjeiden ajantasaisuus ja päivitettävyyden olisi hyvä ottaa huomioon niitä laadittaessa, kuin myös ohjeiden sijainti tietojärjestelmässä. Toiveena on myös suunnitteluohje, jonne listattaisiin suunnittelun ja mitoituksen lähtökohdat sekä perusteet helposti luettavaan muotoon.

Työn luonteesta johtuen tietoperusta keskittyy erityisesti tuotekehitykseen ja tavarankuljetukseen. Suunnitteluprosessia ja siihen erilaisin kytköksiin liittyviä osa-alueita tarkastellaan lähinnä kirjallisuuden kautta, kun taas kuljetukseen liittyvissä seikoissa henkilöhaastatteluilla on merkittävä rooli. Lisäksi aiemmin hankitun kokemuksen tuomaa teoriataustaa voidaan hyödyntää etenkin tietolähteiden kartoittamisessa, ja tältä osin esimerkiksi erilaiset tietokannat, niin toimeksiantajalla kuin muuallakin, ovatkin standardien ohella osoittautuneet erittäin hyödyllisiksi lähteiksi.

Pääpiirteissään ongelmaan pureudutaan luvussa 4 kuvatulla järjestelmällisellä tuotekehitysprosessilla. Se on mukaelma Pahlin ja Beitzin (1990) sekä Ulrichin ja Eppingerin (2003) esittelemistä lähestymistavoista uuden tuotteen kehittämiseksi. Lisäksi tuotekehitysprosessissa pidetään mukana käyttäjäystävällisyyteen, turvallisuuteen ja muotoilulliseen näkökulmaan kantaa ottava ote.

## **2 SYMBELT-TELA PAPERIKONEESSA**

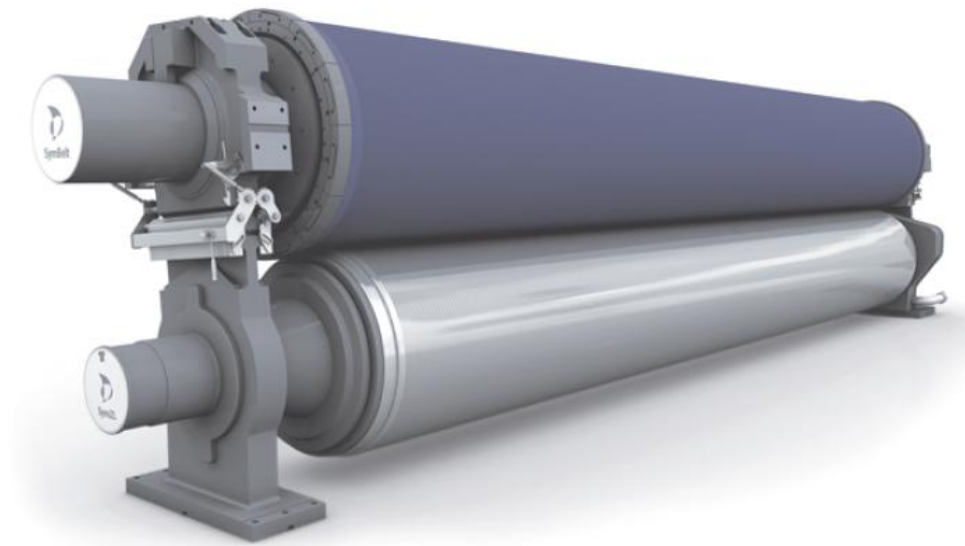
Paperikone koostuu neljästä pääosasta: perälaatikosta, viiraosasta, puristinosasta ja kuivatusosasta. Näistä kolme ensimmäistä muodostaa niin kutsutun märkápään, jossa paperiraina muodostuu. Perälaatikon tehtävänä on jakaa laimea kuituseos eli sulppu viiraosalle mahdollisimman tasaisesti. Viiraksi kutsutaan päättymätöntä, muovilangoista koottua mattoa, jonka läpi viiraosalla poistuu yli 95 % perälaatikolta lähteneestä vesimäärästä, kuiva-ainepitoisuuden ollessa viiran loppupäässä 15 - 20 %. Puristinosalla kuiva-ainepitoisuutta kasvatetaan entisestään ja kuivatusosalle mentäessä se on noussut jo 40 - 60 %:iin. Kuivatusosan tehtävänä on laskea paperin kosteus paperilajista tai seuraavasta prosessista riippuen 3 - 10 %:iin. Kuviossa 2 on kuvattu rakennekuvana koko edellä mainittu prosessi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 15 - 16.)



KUVIO 2. Paperikoneen prosessikuvaus. Puristinosa ympyröitynä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 16, muokattu)

Hägglom-Ahngerin ja Komulaisen (2006, 16) mukaan kuviossa 2 korostettu puristinosa koostuu tyypillisesti 2 - 4 telaparista. Näitä telapareja kutsutaan puristusvyöhykkeiksi tai *puristinnipeiksi*, ja niiden rakenteella, sijoittelulla sekä niiden läpi kulkevien huopien lukumäärällä on suora yhteys paperin symmetrisyyteen. Myös puristusosassa poistetulla vesimäärällä on suuri vaikutus prosessiin. Mitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus siinä saavutetaan sitä taloudellisemmaksi kallis kuivatusosan käyttö tulee tuotannon kannalta. Nimensä mukaisesti puristinosa puristaa huopien välissä olevan paperirainan telojen väliin ja samalla poistaa kosteutta mekaanisesti. Tämä on huomattavasti halvempaa, kuin kuivatusosalla käytettävä höyryenergia. (Mts. 155)

Kirjassaan Hägglom-Ahnger ja Komulainen (2006, 156 - 158) kuvailevat kuusi erilais- ta puristintyyppiä: kaksoishuopapuristin, sileä puristin, imutelapuristin, onsipintapu- ristin, isotelapuristin ja suljettu kenkäpuristin. Kuviossa 3 ylempänä telana oleva Metso Paperin SymBelt edustaa näistä viimeisintä.



KUVIO 3. SymBelt-telan (ylempi) ja vastatelan muodostama telapari (SymBelt roll 2006)

Kenkäpuristimen etuna on perinteiseen puristimeen verrattuna suurempi kuiva-ainepitoisuuden saavutettavuus. Sillä saadaan kuiva-aineen määrää 3 - 8 prosenttiyksikköä suuremmaksi. Yhtenä syynä tähän on leveän nipin mahdollistama riittävä puristus aika, jonka ansiosta voidaan myös viivakuormaa kasvattaa. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 158.)

Kuten SymBelt-telakin, ovat nykyään käytettävät kenkäpuristimet suljettuja. Pyörivä hihna peittää sisälleen kengän ja estää telan sisällä olevan öljyn ulospääsyn. Näin voidaan käyttää myös hydrostaattisen ja hydrodynaamisen paineen yhdistelmää nip-pitapahtumassa: ensiksi hydrostaattinen alue antaa paineen nousta joustavasti, seuraavaksi toinen hydrostaattinen alue edesauttaa tasaisella paineellaan veden poistumista paksuissakin kartongeissa, ja viimeinen hydrodynaaminen alue lopulta puristaa rainaa suurella paineella alentaen kuiva-ainepitoisuuden halutulle tasolle. (Mts. 158 - 159.)

SymBelt-telan sisällä on kengän ohjaamiseen, voiteluun ja muuhun öljynkäsittelyyn liittyviä komponentteja. Ennen paperikoneeseen asennusta öljyä ei telan sisällä ole, ja koska tela kuljetetaan ilman hihnavaippaa, on korroosion esto vaativaa. Korroosion estämiseksi telaa pakatessa käydäänkin läpi monivaiheinen prosessi (Onnela 2010). Tämä prosessi tuokin omalta osaltaan haasteita myös telan kuljetusta ajatellen, sillä pakkauksessa käytettyä tiiviyyttä ei tulisi rikkoa ennen asennusta paperikoneeseen.

### **3 KULJETUKSEN TEORIA**

#### **3.1 Kansainväliset tavarakuljetukset**

Lähtetäjän näkökulmasta kansainvälisen kuljetuksen hallinta on kotimaan kuljetuksia paljon monimutkaisempaa. Se pitää sisällään itse kuljetusprosessin suunnittelun lisäksi useiden erilaisten säädösten määräämien dokumenttien käsittelyä. Välttämättä kaikki dokumentit eivät ole maailmanlaajuisesti yhteneviä, joten lähtetäjän tulee olla tarkkana kohdemaan säädöksistä. Pahimmassa tapauksessa rahti ei virheellisten dokumenttien johdosta saavuta määränpäättä lainkaan. (Coyle, Bardi & Novack 1999, 235 - 239.)

Siinä missä kotimaan tavarankuljetuksesta 67 % tapahtuu tieliikenteessä ja 23 % rautateitse (Tietilasto 2011 2012), ovat vastaavat luvut Tullihallituksen (2011) mukaan vuonna 2010 olleet vientikuljetuksessa ainoastaan 8 % ja 3 %. Merkittävin osa vientikuljetuksesta tapahtuukin meriteitse, ja sen osuuden Tullihallitus (2011) kertoo vuonna 2010 olleen 88 %. Toki täytyy myös muistaa, ettei esimerkiksi Keski-Suomesta ole mahdollista suorittaa vientiä merikuljetuksella ilman kotimaan sisäistä tavarankuljetusta soveltuvaan satamaan.

Haastattelussa SymBelt-telan kuljetuksia järjestävä Huumarkangas (2013) kertoo etenkin merikuljetuksen asettavan ehtoja kuljetettavan kollin eli kuljetusyksikön rakenteelle. Lastatessa kollit pyritään järjestelemään mahdollisimman tiiviisti ruuman laitoja ja tosiaan vasten. Usein se saatetaankin jopa ajaa ruuman seinää vasten osumaan saakka siten, että välissä on ainoastaan puulankku. Tämä on syytä ottaa huomioon mietittäessä kollin, eli tässä tapauksessa SymBelt-telan kuljetusalustan rakennetta.

Toinen kuljetusalustan rakenteen suunnitteluun merkittävästi vaikuttava rajoite on kestävyys määräysten mukaisia voimia vastaan. Huumarkangas (2013) tuo ilmi heidän käyttävän International Maritime Organizationin (1997) säädöksiä näitä voimia - kuten muitakin kuljetuksia koskevia seikkoja koskien. Kuviossa 4 on esitetty kolmelle eri kuljetusmuodolle asetetut vaatimukset voimien suhteen. Siinä käytetään kertotena putoamiskiihtyvyyttä  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$  (Young & Freedman 2004, A7). Lentokuljetuksessa vaatimukset ovat näitäkin tiukemmat. Teloja kuljetetaan kuitenkin ilmateitse lähinnä yksittäistapauksissa, eikä niihin tässä työssä paneuduta.

Mode of transport	Forwards	Backwards	Sideways
ROAD	1.0g	0.5g	0.5g
RAILWAY			
Wagons subject to shunting <sup>1</sup>	4.0g	4.0g	0.5g (a)
Combined transport <sup>2</sup>	1.0g	1.0g	0.5g (a)
SEA			
Baltic Sea	0.3g (b)	0.3g (b)	0.5g
North Sea	0.3g (c)	0.3g (c)	0.7g
Unrestricted	0.4g (d)	0.4g (d)	0.8g

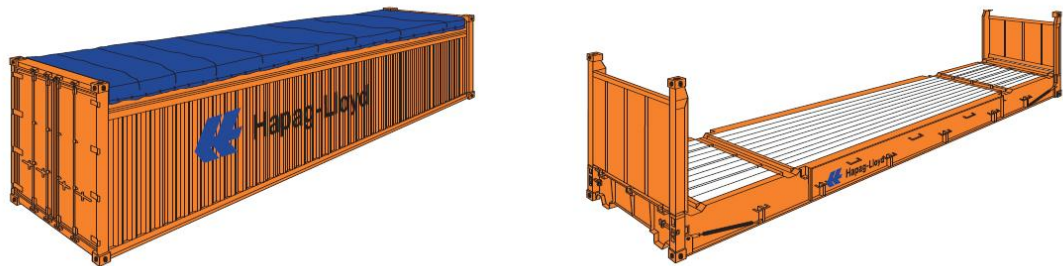
<sup>1</sup>The use of specifically equipped rolling stock is advisable (e.g. long shock absorbers, instructions for shunting restrictions).

<sup>2</sup>Combined transport means wagons with containers, swap-bodies, semi-trailers and trucks, and also "block trains" (UIC and RIV).

KUVIO 4. Kuljetuksen aikaiset rasitukset (International Maritime Organization 1997)

### 3.2 Kuljetusvälineet

SymBelt-teloja kuljetetaan Huumarkankaan (2013) mukaan mahdollisuuksien mukaan joko ylhäältä lastattavissa *Open top* -konteissa tai "fläteillä" (*flat rack*). Flätillä tarkoitetaan periaatteessa konttia, josta puuttuvat sivuseinät ja katto, ja sillä kuljetetaan telat, jotka eivät dimensioidensa tai massansa vuoksi sovellu konttikuljetukseen. Esimerkki molemmista löytyy kuvista 5.



KUVIO 5. Open top -kontti (vas) ja flat rack -alusta (Container Specification 2010, muokattu)

Erilaiset kuljetusvälineet asettavat erilaisia vaatimuksia telan kuljetukselle. Koro (2013) kertoo haastattelussaan, että pääasiassa pyritään käyttämään 40 jalan pituisia, ja 8 jalan 6 tuuman korkuisia open top -kontteja ja flat rack -alustoja. Massaltaan alle 20 000 kg olevat telat pyritään kuljettamaan konteissa, vaikkakin Koro myös toteaa, että eri maiden säädöksissä saattaa olla poikkeamia, jolloin painoraja voi olla tätä matalampi. Nämä kuitenkin ovat yksittäistapauksia. Taulukossa 1 on listattuna sekä open top -kontin ja flat rack -alustojen että myös hieman korkeamman kuorman sallivan *high cube flat* -alustan rajoittavat mitat.



TAULUKKO 1. Kuljetusalustan maksimitat eri kuljetusvälineissä (Maersk line equipment guide)

	<u>Open top</u>	<u>Flat rack</u>	<u>High cube flat</u>
<b><u>Maksimileveys (mm)</u></b>	2 223	2 224	2 224
<b><u>Maksimipituus (mm)</u></b>	11 810	12 058	12 058
<b><u>Maksimikorkeus (mm)</u></b>	2 289	1 940	2 260
<b><u>Maksimipaino (kg)</u></b>	20 000	34 500	47 200

On erittäin tärkeää pyrkiä pysymään varustamojen ja kuljetusliikkeiden asettamien mittojen sisällä, mikäli se vain on mahdollista. Jos tela kuljetusalustoiheen ylittää jonkin määrävistä mitoista, saattaa kuljetuksen hinta pahimmassa tapauksessa liki kaksinkertaistua. Pitkiä ja halkaisijaltaan suuria teloja kuljetettaessa on kuitenkin erittäin hankalaa noudattaa annettuja rajoja, jolloin kuljetuksen kustannukset väistämättä nousevat. (Koro 2013.)

### 3.3 Tavaralahetyksen merkinnät

Kuljetusta varten tarvitaan selkeät merkinnät lähetystä koskevista tiedoista. Lähtökohtaisesti kuljetettavissa kolleissa käytetäänkin kuljetusmerkkiä, osoitemerkintöjä, tiedonantomerkintöjä ja käsittelymerkkejä, joista kuljetusmerkkiä on käytettävä aina muiden merkintöjen ollessa riippuvaisia esimerkiksi käytettävästä kuljetusmuodosta. Lisäksi muun muassa lentorahdissa käytettävät merkinnät poikkeavat edellä mainituista. Lähtökohtaisesti SymBelt-teloja kuljetetaan kuitenkin ainoastaan maantie- ja merikuljetuksella, joten näihin ei ole syytä pureutua. (SFS 2815, 1985.)

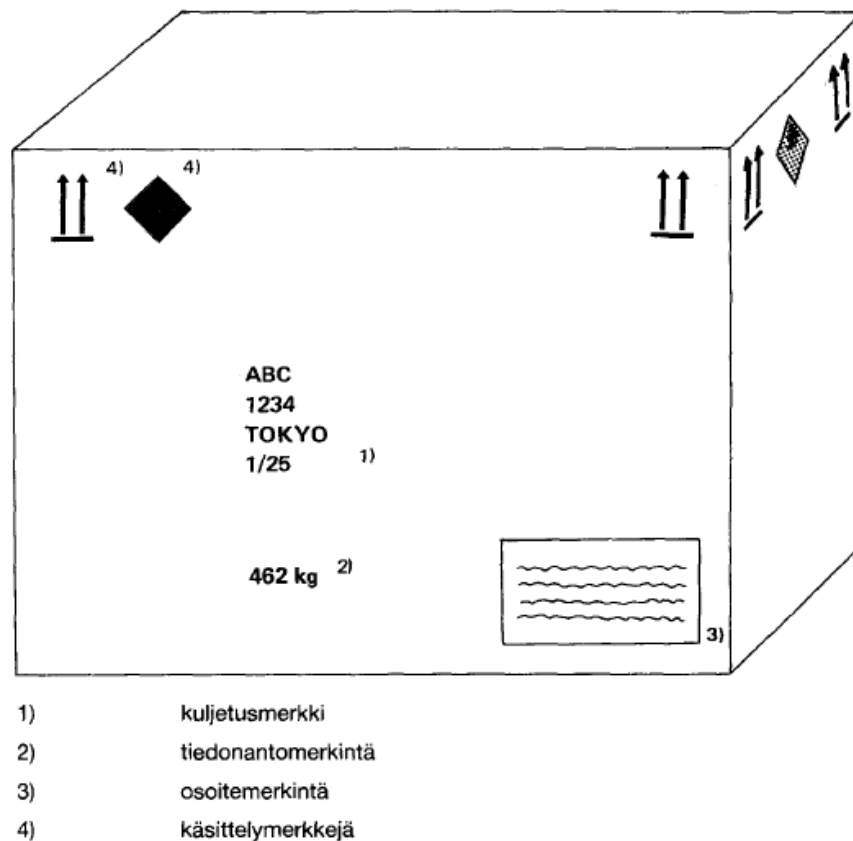
Kuljetusmerkki rakentuu seuraavasti (suluissa esitetty esimerkkimerkintä):

- 1) vastaanottajan/ostajan lyhennetty nimi (ABC)
- 2) viitenumero (1234)

- 3) purkamispaikka (TOKYO)
- 4) kollin numero (1/25).

Näistä kohdat 1 ja 2 voidaan kuitenkin korvata ainoastaan viitenumerolla, mikäli näin lähettäjän ja vastaanottajan välisessä sopimuksessa määrätty. Kuviossa 6 on esitetty esimerkki merkinnöistä ja niiden sijoittelusta. (Mt.)

Kuljetusmerkki tulee merkitä kolleihin kahdelle sivulle ja merikuljetuksessa myös yläsivulle, käytettävien kirjainten ollessa vähintään 50 mm:n korkuisia (tai kollin kokoon soveltuvia). Kirjainten on kokonsa lisäksi oltava helposti erotettavissa myös vä-  
rinsä puolesta. (Mt.)



KUVIO 6. Esimerkki lähetyksen merkinnöistä (SFS 2815, 1985, 5)

Huumarkangas (2013) tuo ilmi myös muita, etenkin SymBelt-telojen kuljetusta koskevia lisämerkintöjä: telan pakkauksesta on oltava selkeästi näkyvissä sen painopisteen sijainti, nosto- ja sidontaohjeet sekä kiipeämisen ja päällelastauksen kieltävät merkinnät. Näiden, kuten muidenkin merkintöjen tulee olla erittäin helppolukuiset, eikä kielitaito saisi vaikuttaa niiden ymmärtämiseen. Lisäksi pakatusta telasta tulee käydä ilmi hoito- ja käyttöä.

### **3.4 Sidonnat**

Sidontapisteet tulee standardin SFS-EN 12640 (2001) mukaisesti olla sijoitettu ajoneuvossa siten, etteivät samalla sivulla olevat vierekkäiset sidontapisteet ole yli 1 200 mm:n päässä toisistaan. Poikkeuksena tähän on taka-akselin yläpuolinen alue, jossa maksimietäisyys voi puolestaan olla 1 500 mm. Etu- ja takapäätyseinien lähellä tulee olla sidontapisteet enintään 500 mm:n päässä kyseisestä seinästä.

Sidontapisteiden sallitut kuormitukset on esitetty taulukossa 2. Nämä tiedot antavat suuntaviivoja siihen, kuinka sidonta pystytään ylipäättään järjestämään. Telan ja kuljetusalustan paino tietäen voidaankin päätellä kuinka monta sidontapistettä tarvitaan. Samalla täytyy toki muistaa, että kuljetuskalusto ei välttämättä seuraa standardia tarkasti, joten yhteistyö kuljetusyrityksen kanssa on usein tarpeen myös sidontoja suunniteltaessa.

TAULUKKO 2. Ajoneuvon sidontapisteiden sallitut vetokuormitukset (SFS-EN 12640 2001)

Ajoneuvon suurin sallittu massa ( $m$ ) tonneina	Sidontapisteen sallittu vetokuormitus ( $kN$ )
$3,5 < m \leq 7,5$	8
$7,5 < m \leq 12$	10
$m > 12$	20

Huumarkangas (2013) kertoo haastattelussa näkemyksensä hyvän sidonnan toteuttamisesta. Pääkohtia hän listaa 3:

- sidonta päistä ristiin
- ajosuunnan mukainen sidonta
- kiinnitys mahdollisimman läheltä painopistettä vertikaalisuunnassa.

Samalla hän tuo esille sen, että kuljetusalusta olisi hyvä saada tuettua etuosastaan lankun avulla kiinni kuljetusvälineen etulaitaan, ja että tarvittaessa voidaan käyttää lankkuja myös tasaamaan pintapainetta kuljetusalustan alapuolella. Pintapaineen suhteen sekä Huumarkangas (2013) että Koro (2013) kuitenkin suosittelevat vahvasti telan kuljetusalustan oman pohjalevyn mitoittamista järkevästi. Käytännössä tämä tarkoittaa, että pohjalevyn leveys tulisi määrätä luvussa 3.2 esitetyn flat rack -alustan pitkittäisten kiskojen mukaan - hieman maksimileveyttä kapeammaksi.

Huumarkangas (2013) painottaa myös, ettei mahdollisesta nostosakkelista, tai sen kiinnitysreiästä, saisi sitoa missään kuljetuksen vaiheessa. Nostosakkelit on toisaalta hyvä olla kiinnitettyinä koko kuljetuksen ajan, sillä tämä helpottaa kuljetuksen aikaisissa nostoissa. Huumarkangas arvioikin, että nostokohtien lisäksi olisi hyvä olla 3+3 sidontakohtaa molemmissa päissä kuljetusalustaa.

### 3.5 Nostot kuljetuksessa

Kuljetuksessa tulee väistämättä tilanteita, jossa kuljetettavaa kolia täytyy liikutella. Raskaiden ja isokokoisten lähetysten tapauksessa lastaukseen ja lastin purkuun käytetään lähes poikkeuksetta erityyppisiä nostureita. SymBelt-telan kuljetusketjun ensimmäinen nosto tapahtuu jo telatehtaalla, joten on tärkeää kiinnittää huomiota nostotapahtuman turvallisuuteen.

Juhalan (2012) mukaan myös itse suunniteltavien nostoapuvälineiden tulee olla CE-hyväksyttyjä. Hän kuitenkin tuo esille, ettei telan kuljetusalustaa kuitenkaan rinnasteta nostoapuvälineeksi. Kuljetusalustan nostojen osalta voidaankin käyttää pelkästään Nostolaitteiden lujuuslaskennan (2010) määrittelemiä ehtoja, joissa ohjeistetaan käyttämään nostolaitteita suunniteltaessa materiaalin myötörajaan nähden varmuuskerrointa 2, tai murtorajaan nähden varmuuskerrointa 3.

Usein telojen nosto-ohjeiden kohdalla mainitaan suurin sallittu kulma, jossa nostoraksit saavat nosturinkoukulta akselisuuntaa vastaan lähteä. Toisaalta kulman suuruus vaikuttaa erittäin hankalalta määritettävältä nostotilanteessa - ellei noston suunnittelija sitä trigonometrian tai kulmamittarin avulla ratkaise. Kenties voisikin olla järkevämpää määrittää pienin sallittu nostoraksin pituus. Tämä on noston suorittajan kannalta erittäin paljon helpompaa kontrolloida, ja samalla rajaa nostossa tapahtuvan rasituksen sallitulle tasolle.

## 4 TUOTEKEHITYKSEN TEORIA

### 4.1 Tuotekehitys yrityksen näkökulmasta - tuotekehitystyyppit

Menestyäkseen taloudellisesti yrityksen on tarkkailtava ja tunnistettava asiakkaidensa tarpeet ja osattava reagoida näihin. Tarpeiden täyttämiseen suunnatut tuotteet on pystyttävä tuottamaan tehokkaasti ja alhaisin kustannuksin, ja lopulta yhdessä markkinoinnin kanssa tuotava asiakkaalle. Tuotekehitys pureutuu nimenomaan tähän prosessiin - asiakasärsykkeestä tuotteen tarjontaan. (Ulrich & Eppinger 2003, 2.)

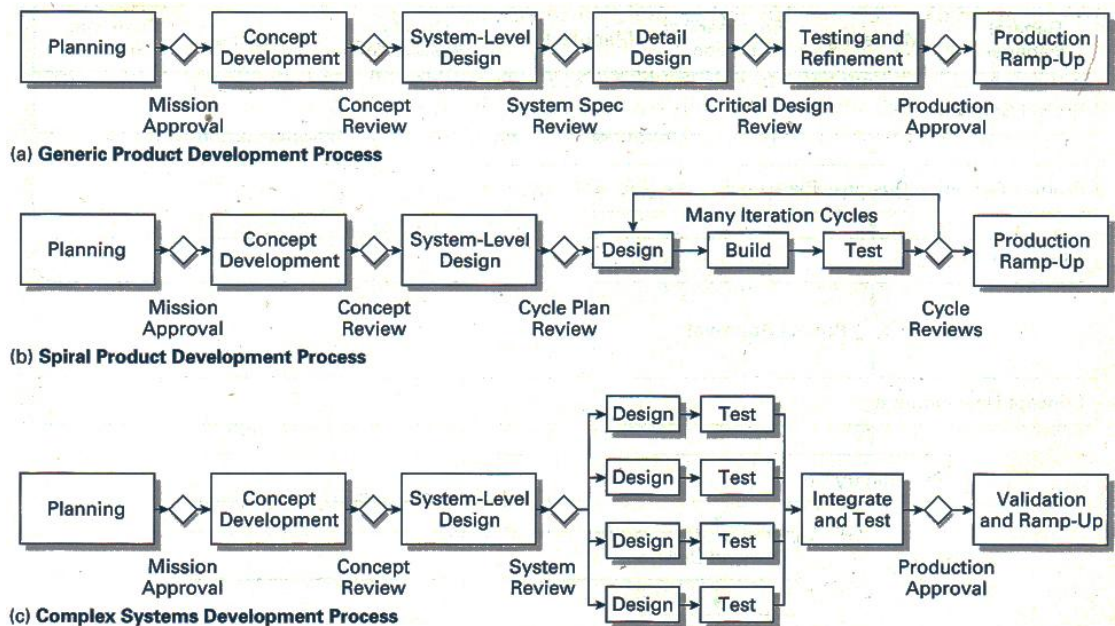
Edellä mainittua lähestymistapaa voidaan karkeasti kuvata markkinavetoiseksi tuotekehitykseksi; asiakkaalla on ongelma, johon yrityksen täytyy löytää ratkaisu. Vaikka tämänkaltainen syy-seuraussuhde saattaakin vaikuttaa ilmeisimmältä tuotekehitystyyppiltä, ei se kuitenkaan ole ainoa. Joissain tapauksissa saatetaan esimerkiksi luoda asiakaskunta jo olemassa olevan teknologian ympärille. Tällöin puhutaan niin kutsutusta teknologialähtöisestä tuotekehityksestä, josta yleisesti käytetään sen englanninkielistä termiä *technology push*. Näitä kahta tyyppiä voidaan pitää yleisempinä tuotekehitysprosessien tyyppeinä. (Mts. 18 - 19.)

Tuotekehitysprosesseja voidaan kategorisoida enemmänkin. Mikäli kehitettävä tuote rakentuu ikään kuin alijärjestelmäksi suurempaan kokonaisuuteen, voidaan puhua alustakeskeisestä tuotekehityksestä. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan mainita tietokoneen tulostin tai DVD-asema. (Mts. 18 - 20.)

Jos taas järjestelmä vaatii toimiakseen useiden monimutkaisten tuotteiden kontrolloitua yhteistoimintaa, puhutaan tuotteiden osalta kompleksisesta tuotekehityksestä (Mts. 18 - 20). SymBelt tela itsessään täyttääkin kompleksisen tuotekehitysprosessin merkit; sen tulee olla suunniteltu omana osanaan, mutta myös osana laajempaa kokonaisuutta, paperikonetta.

## 4.2 Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessin kulku voidaan Ulrichin ja Eppingerin (2003, 13 - 15) mukaan pääpiirteissään jakaa kuuteen osaan: suunnittelu, konseptien luominen, järjestelmätason suunnittelu, viimeistely, testaus ja hienosäätö sekä tuotannon ylösajo. Vaikka näiden välillä periaatteessa onkin selkeä kronologinen järjestys, voidaan siitä, tuotekehitysprojektin tyypistä riippuen, poiketa parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Esimerkkinä tästä on kuviossa 7 kuvattu kolmen toisistaan poikkeavan prosessin kulku.



KUVIO 7. Kolmen erityyppisen tuotekehitysprosessin etenemiskaavio (Ulrich & Eppinger 2003, 23)

Suunnitteluvaiheessa, jota usein nimitetään myös nolla-vaiheeksi (englanniksi phase zero), kerätään tuotekehitysprojektin pohjatiedot. Ulrich ja Eppinger (2003, 36) lähtevät kirjassaan tekemään suunnitelmaa markkinamahdollisuuksista ja eri projektien priorisoinnista alkaen. Kuitenkaan yksittäistä, jo päätettyä projektia suunniteltaessa ei näin laajaan suunnitteluun ole syytä keskittyä. Samoin he etenevät aina testaukseen ja tuotannon ylösajoon saakka. Mikäli keskitytäänkin tämän opinnäytetyön kaltaisiin projekteihin, voidaan supistaa suunnitteluvaiheita melkoisesti.

Työn luonteen huomioonottaen onkin parempi lähestyä prosessia soveltaen enemmänkin Pahlin ja Beitzin (1990, 47 - 52) esittämää systemaattista lähestymistapaa. Siinä edetään neliporaisesti tehtävänasettelun selvittämisestä, luonnostelun ja kehittelyn kautta viimeistelyyn. Vaikka kyseessä on yli kaksi vuosikymmentä vanha teos, ovat sen kuvaamat menetelmät projektinhallinnallisesti ajateltuna edelleen kurantteja.

#### 4.2.1 Tehtävänasettelun selvittäminen

Tuotekehitysprojektia aloitettaessa on syytä tietää, mitä ylipäättään ollaan tekemässä. Tehtävänannossa tulee olla riittävästi informaatiota, jotta projektin asettelu on mahdollista ylipäättään suorittaa. Informaation puutteen vuoksi joudutaankin usein tekemään lisäselvityksiä, ja tämä lisää työvaiheita. (Pahl & Beitz 1990, 62 - 63.)

Tärkeimpänä yksittäisenä dokumenttina tehtävänasettelun selvittämisessä on sen tuloksena syntyvä vaatimuslista. Tähän vaatimuslistaan kirjataan reunaehdot, joilla projektia lähdetään tekemään. Vaikka Pahl ja Beitz (1990, 64) tyytyvät listaamaan nämä rajoitukset ainoastaan *vaatimusten* ja *toivomusten* avulla, on vaatimusten käsitettä syytä jakaa hieman. Yleisesti käytetäänkin listauksessa vähimmäisvaatimuksia (*minimum requirements*), kiinteitä vaatimuksia (*fixed requirements*) ja toiveita (*desires*). Esimerkkinä vähimmäisvaatimuksesta voisi olla vaikka "tuote saa painaa enintään 25 kg", kiinteän vaatimuksen ollessa muotoa "tuotteen pitää painaa 25 kg". Toi-



ve on sanamukaisesti toivomus jonkin ominaisuuden saavuttamisesta mahdollisuuksien mukaan.

Kuviossa 8 on esitetty vaatimuslistan esimerkkirakenne. Ulkoasu ja lopullinen rakenne riippuu kunkin yrityksen omista mieltymyksistä ja käytetyistä pohjista, mutta selkeä ja looginen rakenne helpottaa vaatimuslistan käyttöä. Vaatimuslista tulee pitää ajantasaisena, ja se tulee toimittaa kaikille projektissa mukana oleville tahoille. (Mts. 64 - 66.)

Painos:			
Käyttäjä		Vaatimuslista Projekti, Tuote	Identifiointi Luokittelu Lehti: Sivu:
Muutos	V T	Vaatimukset	Vastaava
Muutos pvm.	Tunnus V tai T	Esine- tai ominaisuus määrä- ja laatu-tietoineen  Tarvittaessa jäsenneiltyä osajärjestelmiksi (toiminto- tai rakenne- ryhmiksi) tai ohjelman tunnuksen mukaan	Vastuullinen konstruktoryhmä
Korvaa painoksen			

KUVIO 8. Vaatimuslistan esimerkkirakenne (Pahl & Beitz 1990, 65)

#### 4.2.2 Luonnostelu

Kun tehtävänasettelu on selvillä ja vaatimuslista luotuna, voidaan siirtyä luonnosteluvaiheeseen. Toki ennen vaiheen varsinaista aloittamista on syytä pohtia, onko pro-

jektin toteutus ylipäättään mahdollista "siedettävien uhrauksien", tai voidaanko ongelman ratkaisemiseksi käyttää jo tunnettuja ratkaisuja, ja näin ollen siirtyä suoraan kehitty- tai viimeistelyvaiheeseen. Mikäli luonnosteluvaihe käydään läpi, on sen lopputuloksena periaatteellinen ratkaisu, eli luonnos. (Pahl & Beitz 1990, 71.)

Yksi merkittävä työkalu luonnosteluvaiheessa on abstrahointi. Abstrahoinnissa tarkoituksena on kaivaa esiin kehitettävän tuotteen ydinolemus pyrkien välttämään mitään ennakoasetelmaa. Ydinolemuksen selvittyä voidaan alkaa ratkaisemaan ongelmaa tehokkaasti ja luovasti. (Mts. 72 - 74.)

Pahl ja Beitz (1990, 74) tarjoavat abstrahointiin 5-asteleisen menetelmän. Hyvin luodun vaatimuslistan avulla aletaan järjestelmällisesti etsiä ydinolemusta seuraavasti:

1. Jätetään vaatimuslistan toiveet pois.
2. Jätetään pois vaatimukset, jotka eivät vaikuta välittömästi tuotteen toimintaan tai oleellisiin ehtoihin.
3. Kvantitatiiviset vaatimukset muutetaan kvalitatiivisiksi ja muokataan yleisempään muotoon.
4. Laajennetaan ja yleistetään edelleen vaatimuksia mielekkäästi.
5. Muotoillaan ongelma neutraaliksi.

Näiden viiden askeleen jälkeen ongelman tulisi olla muotoiltu hyvinkin abstraktilla tasolla. Esimerkkinä Pahl ja Beitz (1990, 75 - 77) kuvaavat *säiliön sisällön mittauslaitteen anturin* yli 30 kohdan vaatimuslistan askelettaisen läpikäynnin. Ydinolemuksiksi säiliölle he kiteyttävät: "Jatkuvasti mitattava ja osoitettava ajallisesti muuttuvaa nestemäärää mielivaltaisen muotoisissa astioissa". Nyt ongelma on esitetty niin yleisessä muodossa, ettei se pidä sisällään lainkaan ennalta määritettyä ratkaisua. Tämän ydinolemuksen avulla voidaankin lähteä tarkastelemaan ratkaisuja vailla aiempien sovellusten painolastia.

Ongelman selvittyä haetaan ratkaisuvaihtoehtoja. Ideointiin on kehitetty useita enemmän tai vähemmän järjestelmällisiä menetelmiä, jotka kukin vaativat omanlaisensa alkuvalmistelun ja ryhmän toimiakseen. Joitain tällaisia ryhmädynamiikan vaikutuksiin perustuvia intuitiivisesti painotettuja menetelmiä ovat esimerkiksi aivoriihi (*brainstorming*), synektiikka, galleriametodi ja metodi 635. (Mt. 103.)

Kenties tunnetuin edellä mainituista, ainakin terminä, on aivoriihi. Sen hyödyt tulevat esille, kun ei ole vielä mitään toteuttamiskelpoisia ratkaisuja, tai kun vallitsee käsitys, ettei olemassa olevin ehdotuksin päästä enää eteenpäin. Yksi aivoriihen hyödyt esiintuva tilanne on myös se, että halutaan päästä eroon tavanomaisista ratkaisuista. (Mt. 105.)

Aivoriihessä 5 - 15 henkilön ryhmässä osanottajat tuovat ilmi ajatuksiaan toteutusvaihtoehtoiksi, muun ryhmän tuodessa muunnelmia ja kehitysajatuksia esitettyyn ideaan. On ensiarvoisen tärkeää, ettei kukaan kritisoi yhtäkään ideaa, vaan ilmapiiri on vapaa ja avoin uusille ideoille. Edes toteutusmahdollisuuksia ei oteta aluksi huomioon, vaan tärkeintä on antaa "ajatuksen lentää". Saadut ideat kirjataan ylös, luonnostellaan tai nauhoitetaan. (Mt. 105.)

Ideointiprosessin jälkeen saadut ideat käydään läpi, ja niistä etsitään käyttökelpoisia piirteitä. Näitä piirteitä kehitellään edelleen eteenpäin, ja tulosten selvittyä voidaan ne vielä käydä ryhmän kesken läpi, jotta vältetään väärinkäsityksiltä toiminnoista. Mielellään useiden eri alojen asiantuntijoista koostuva ryhmä voikin aikaansaada rajoja rikkovia toteutustapoja ja tuoda ilmi uusia näkökulmia, joita ainoastaan oman työnsä parissa työskentelevä asiantuntija ei tulisi ajatelleeksi. Ryhmätyö siis kannattaa. (Mt. 105.)

Toisaalta Kettunen (2001, 72) tuo kirjassaan ilmi, että ryhmän jäsenten itsenäinen ideointi tuottaa enemmän ja parempia ideoita samassa ajassa kuin mitä ryhmä saisi aikaiseksi yhdessä. Samalla ryhmätyö vie enemmän työaikaa, ja näin ollen on kustan-

nuksia ajatellen huonompi vaihtoehto. Toki hän myös toteaa, että ryhmäideointi on hyödyllistä ideoiden kehittämisessä, tiedonvälityksessä ja yksimielisyyden luomisessa. Parhaimmaksi ratkaisuksi näyttäisikin muodostuvan useiden tuntien itsenäinen ideointi, jonka jälkeen muutaman tunnin kestävä ryhmäideointi.

Myös itsenäisiä ideointimenetelmiä on kehitelty. Näitä Kettunen (2001, 72 - 74) listaa muun muassa seuraavasti:

- *Piirtäen ideointi*, jossa kynän ja paperin avulla tuodaan idea visuaaliseen muotoon. Tämän luonnostelman pohjalta voidaan tarkastelun ja arvioinnin seurauksena tehdä kehiteltyjä ideoita, ja näin viedä prosessia eteenpäin.
- *Tunnetut ratkaisut* helpottavat ideointia, sillä jo olemassa olevia ratkaisuja yhdistelemällä tai muokkaamalla saatetaan saada etsitty ratkaisu. Hyviä tapoja on tarkastella esimerkiksi luonnossa olevia tapahtumia, tai eri mittakaavassa esiintyviä samankaltaisia sovelluksia.
- *Toiveajattelussa* tuodaan ideointiin jossittelu: "mitähän tapahtuu, jos..." tai "toivoisin, että..." alkavilla lauseilla pyritään rikkomaan rajoja ja etsimään uusia näkökulmia.

Vaikka Kettunen (2001) kirjassaan keskittyykin muotoilun perusteisiin, on ideointiprosessin periaate silti tuotekehitystoiminnan kanssa yhtenevä. Onhan muotoilun sisällyttäminen tuotekehitystoimintaan ainoastaan tuotekehitysprosessin laajentamista entistä kattavammaksi.

Kun ideoita on syntynyt riittävästi, täytyy ne saada järjestykseen. Myös tähän vaiheeseen löytyy useita lähestymistapoja, mutta kenties yksinkertaisin on Pahlin ja Beitzin (1990, 156) esittämä pistearviointi. Siinä vaatimuslistan perusteella laaditut ominaisuuden pisteytetään (esimerkiksi pistein 1 - 5) sen mukaan, miten hyvin eri konsepti-ideat ne täyttävät. Lopuksi pisteet lasketaan yhteen, ja suurimman pistemäärän saa-

nutta konseptia lähdetään viemään eteenpäin. Esimerkki tällaisesta pistearvioinnista on kuviossa 9.

Tekn. kriteerit	Muunnemat				
	11	13	15	25	35
1) Kytकिनemat- tiikkaan kohd. häiriöt pieniä	(1) 3	4	4	4	3
2) Yksinkert hoito	3	4	4	4	3
3) Helppo kytkimen vaihto	4	3	4	4	4
4) Toiminta- varmuus, seurausvahingot	2	4	3	3	3
5) Yksinkertai- nen rakenne	(1) 2	2	2	2	3
Summa	14	17	17	17	16
$W_{te} = \frac{Summa}{20}$	0,7	0,85	0,85	0,85	0,80

(1) Käyttävän pyörän aksiaalinen siirtymä muuttaa vääntömomenttia

KUVIO 9. Esimerkki vertaulutaulukon käytöstä (Pahl & Beitz 1990, 159)

Samankaltaisia valintamenetelmiä esittävät myös Ulrich ja Eppinger (2003, 124 - 135). Lisänä he tuovat esille pistearvioinnin painottamisen painokertoimin, sekä yksinkertaisen valintamatriisin. Painokertoimien käyttöä voidaan soveltaa myös Pahlin ja Beitzin pistearvioinnissa.

#### 4.2.3 Kehittely

Luonnosteluvaiheen tuloksena saatua perusteltua ideaa muokataan kehittelyvaiheessa kohti lopullista tuotetta. Kehittelyvaiheen jälkeen tuotekehitysprosessin tulisi

olla vietyä niin pitkälle, ettei viimeistelyvaiheeseen jää juuri muuta kuin työpiirustusten, osaluetteloiden ja muiden vastaavien dokumenttien laatiminen. Viimeistään kehittämissä onkin siis otettava kriittisesti kantaa muun muassa materiaalinvalintaan, valmistusmenetelmiin ja päämittoihin - lopputuloksenhan on täytettävä tuotteelle asetetut vaatimukset. ( Pahl & Beitz 1990, 176, 458.)

Rakenteen hahmotuttua on myös erittäin tärkeää tarkastella sen lujuusominaisuuksia. Nykyiset tietokoneavusteiset lujuuslaskentaohjelmistot helpottavat suunnittelijan työtä, sillä monimutkaistenkin rakenteiden tarkastelu on mahdollista suorittaa järkevin resurssein. Rakenteen lujuuden optimointi onkin yksi merkittävä tekijä Pahlin ja Beitzinkin (1990, 176) esille tuomaan tuotekehitysprosessin iteratiivisuuteen. He toteavat, että usein vaaditaan monta kehittelmää tai osakehitelmää, jotta päästään haluttuun tulokseen.

Toinen nykytekniikan mahdollistama etu on suunnitteluohjelmistojen käyttäminen jo luonnosteluvaiheessa. Koska tuoteidean visualisointi ja esittely on 3D-mallien avulla selkeää ja verrattain nopeaa, kannattanee potentiaalisimmat ideat mallintaa alustavasti jo ennen konseptien arviointia. Näin toimimalla voidaan kehittämissä käyttää jo valmiiksi luotuja malleja työn pohjana.

Aiempien prosessin vaiheiden tavoin myös kehittämissä voidaan suorittaa kiintein työaskelin. Pahl ja Beitz (1990, 177) kuvaavat kirjassaan 15 askelta sisältävän työnkulun, mutta samalla he myös toteavat, ettei kyseistä työnkulkua voida tiukasti soveltaa kuin rajallisesti. Etenkin toiminnoiltaan yksinkertaisissa konstruktioissa onkin kenties järkevämpää lähestyä ongelmaa lähtökohdan ja halutun lopputuloksen kautta siten, että pyrkii päämäärään askelletun työnkulun sijaan intuition ja suunnitteluperiaatteiden kautta.

### Keep It Simple and Safe

Yksi keskeinen suunnitteluperiaate tuotekehityksessä on niin kutsuttu *KISS*-periaate (Keep It Simple and Safe). Pahl ja Beitz (1990, 184) sivuavat tätä periaatetta listamalla rakennemuotoilun pääsäännöiksi *yksikäsitteisyyden, yksinkertaisuuden ja turvallisuuden*. Pääpiirteissään tällä tarkoitetaan sitä, että pyritään kehittämään tuote mahdollisimman yksinkertaiseksi siten, että se vielä täyttää sille asetetut toimintavaatimukset. Kärjistetysti voidaankin sanoa, että mitä vähemmän ratkaisussa on osia ja mitä yksinkertaisemmin ne on muotoiltu sitä parempi ja kustannustehokkaampi lopputulos on (Mts. 190). Todellisuudessa joudutaan kuitenkin tekemään kompromisseja parhaan ratkaisun löytämiseksi, ja esimerkiksi numeerisesti ohjattavat työstökoneet mahdollistavat monimutkaisiakin muotoja verrattain alhaisin kustannuksin.

Toisaalta yksinkertaisuuden hyödyt tulevat ilmi myös siinä, että osat ja niiden asennustapa ovat ilmeisiä. Kun ei tarvitse miettiä mikä osa mikin on, eikä miten päin se kohteeseensa asennetaan, saadaan selvää hyötyä muun muassa asennusajan suhteen. Samoin vaikuttaa myös se, ettei jo asennettua osaa tarvitse irrottaa ja asentaa toistamiseen. (Mts. 192.)

Turvallisuus voi puolestaan tulla ilmi monella tavalla. Ilmeisin varmasti on se, ettei tuote aiheuta vaaraa sen käyttäjälle. Pahl ja Beitz (1990, 194) tuovat lisäksi näkökulmina esiin turvallisuuden ympäristöä kohtaan ja tuotteen toiminnan luotettavuuden - laitteen tulee toimia kuten sen on suunniteltukin toimivan.

Ulrich ja Eppinger (2003, 193) tuovat ilmi turvallisuuden suunnittelun myös tuotteen näkökulmasta. Erilaiset tuotteet voivat aiheuttaa erilaisia vaaratilanteita, eivätkä kaikki käyttäjät ole yhtä valveutuneita turvallisuuden suhteen. Esimerkiksi lapsille suunnattujen lelujen suunnittelussa tulee vaaratilanteet ottaa huomioon aivan eri tavalla kuin vaikkapa tietokoneen hiirtä kehitettäessä.

## DFMA

Valmistus- ja asennusmyönteinen suunnittelu (*Design For Manufacturing and Assembly*) tähtää helposti valmistettavaan, kustannustehokkaaseen ja helposti kokoonpantavaan lopputulokseen. Siinä missä Ulrich ja Eppinger (2003, 209 - 243) keskittyvät enemmän kustannustehokkaan valmistuksen huomioon ottamiseen, tuovat Pahl ja Beitz (1990, 321 - 330) laajemman näkemyksen myös suunnittelun vaikutuksen asennukseen. Molemmat ovat erittäin tärkeitä osatekijöitä tuotekehityksen kanalta, ja kehittelyvaiheen ratkaisut vaikuttavat näihin saumattomasti.

Valmistusmyönteisessä suunnittelussa (DFM) on kustannusten pienentäminen yksi tärkeimmistä tekijöistä, ja tämä korostuu etenkin suuria tuote-eriä valmistettaessa. Vaikka kustannukset ovat lähes aina yhtenä tärkeimmistä valintakriteereistä jo luonnosteluvaiheen päättävässä arvioinnissa, ovat ne usein vielä siinä vaiheessa enemmän tai vähemmän summittaisia arvioita. Kehittelyvaiheessa konseptin kustannukset usein tarkentuvat, jolloin voidaan myös tarkastella esimerkiksi erilaisten osavalintojen tai työstötapojen vaikutusta lopullisiin kustannuksiin. (Ulrich & Eppinger 2003, 211 - 212.)

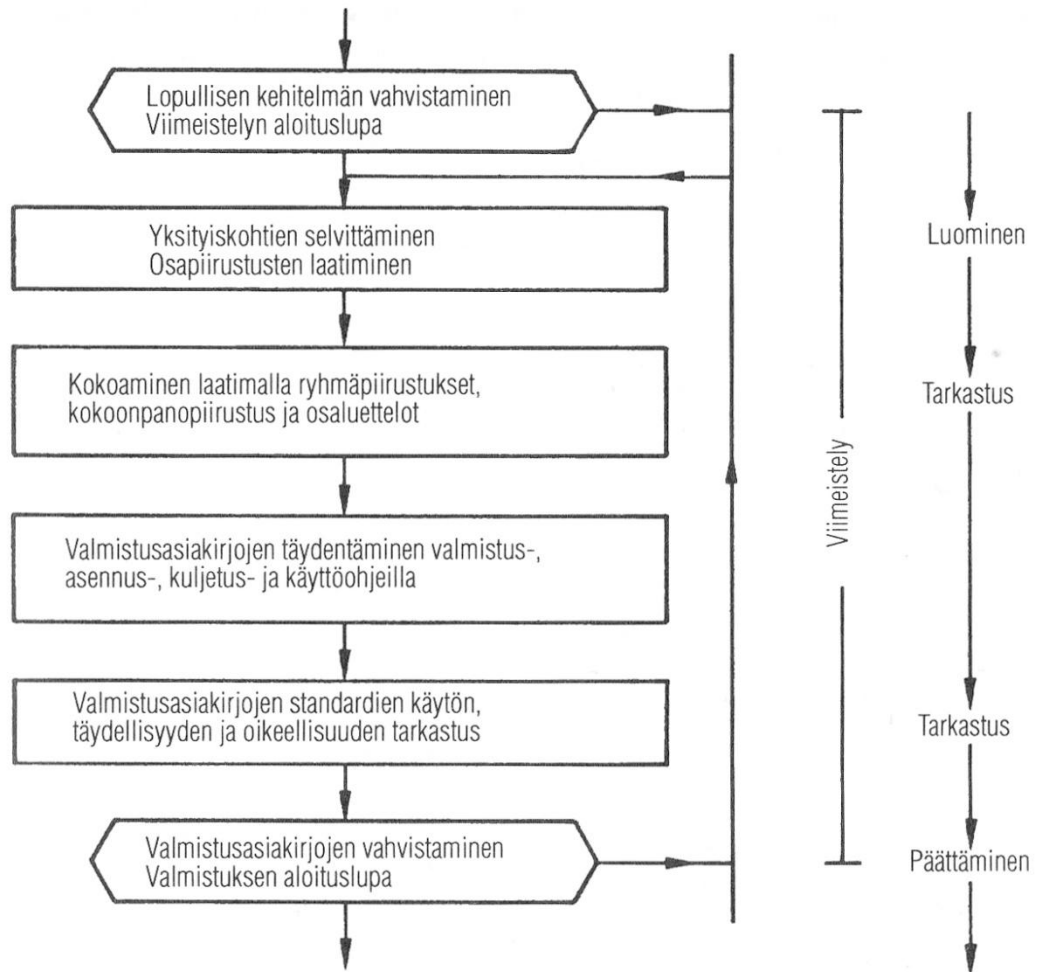
Kustannuksiin voidaan vaikuttaa myös ottamalla huomioon tuotteen kokoonpantavuus ja asennettavuus. Pahl ja Beitz (1990, 321 - 322) tarkastelevat enemmän isojen erien kokoonpanoon liittyviä seikkoja, ja he puhuvatkin esimerkiksi automatiikan roolista asennuksessa. Samoja periaatteita voidaan kuitenkin pitkälti soveltaa myös pieninä erinä tuotettaviin yksinkertaisempiin tuotteisiin. Esimerkiksi osien tunnistettavuus, käsiteltävyys ja siirtely tulee ottaa huomioon niin isojen kuin pienienkin sarjojen kokoonpanossa. Erittäin tärkeitä asioita on myös osien paikoitus ja toisiinsa liittäminen. Mitä helpommin osat ovat tunnistettavissa ja liitettävissä sitä nopeammin kokoonpanovaihe voidaan suorittaa. Näin saavutetaan kustannussäästöjä työajan muodossa.



#### 4.2.4 Viimeistely

Tuotekehitysprosessin viimeinen vaihe painottuu valmistusasiakirjojen laatimiseen. Näihin lukeutuvat käytännössä aina työpiirustukset, kokoonpanopiirustukset ja osaluettelot, mutta projektin luonteesta riippuen valmistusasiakirjoihin voidaan liittää myös käyttö-, asennus- ja kuljetusohjeet, tai esimerkiksi testausohjeet laadunvarmistukseen liittyen. Mikäli osavalmistaja tarjoaa mahdollisuuden tietokoneohjattuun työstöön, tehdään myös sitä ohjaavat tiedostot viimeistelyvaiheessa. (Pahl & Beitz 1990, 458.)

Kuviossa 10 on kuvattu viimeistelyvaiheen työnkulun askeleet. Se kuvaa pääpiirteissään järjestelmällisen etenemisen tarkistuksineen aina valmistuksen aloituslupaansaakka. Kaikki suunnittelijan laatimat dokumentit tarkastetaan oikeellisuuden varmistamiseksi niin standardien mukaisten merkintöjen kuin hyvän ja järkevän asettelunkin osalta. Standardeista saatetaan kuitenkin poiketa, mikäli tämä on yrityksen yleinen käytäntö. Tällöin luonnollisestikin dokumenttien tulee noudattaa kyseisiä sääntöjä.



KUVIO 10. Viimeistelyn työnkulku (Pahl & Beitz 1990, 459)

#### 4.2.5 Järjestelmällisyyden edut

Miksi sitten ylipäätään eritellä prosessi määriteltyihin askeliin? Hyvin määriteltynä toimintona tuotekehitystä on helpompi kontrolloida, ja vaikka kahta identtistä toimintatapaa tuskin yritysten välillä löytyykään, ovat saavutetut hyödyt selviä. Ennalta määritettyjä tarkastuspisteitä noudattaen on helppoa tarkkailla tuotekehitystä esi-

merkiksi laatu näkökulmasta, jolloin niin sanotuista tarkastuspisteiden "porteista" ei pääse eteenpäin kuin kehityskelpoisia ideoita. Myös projektinhallinnallisesti ajateltuna järjestelmällinen prosessi on helppo monitoroida ja johtaa. Hyvin dokumentoidut vaiheet voivat auttaa merkittävästi tulevia tuotekehitysprojekteja, sillä osa pohjatyöstä saattaa olla jo valmiina. (Ulrich & Eppinger 2003, 12 - 13.)

Vaikka tuotekehitysprosessin teoreettinen kulku voidaan tarkasti määritellä, seuraa se tuskin koskaan täydellisesti teoriaa. Ulrich ja Eppinger (2003, 16) toteavatkin, että päällekkäisyyksiä vaiheiden välillä tapahtuu lähes väistämättä. Lisäksi prosessi on usein iteratiivinen, eli esimerkiksi uusien vaatimusten tai saadun lisäinformaation vuoksi palataankin edelliseen vaiheeseen. Hyviä esimerkkejä iteratiivisen prosessin laukaisijoista ovat esimerkiksi asiakkaalta tulleet muutosehdotukset tai prosessin edetessä huomautetut epäkohdat tuotteen lujuuteen liittyen.

### **4.3 Teollinen muotoilu**

Suurinta osaa markkinoilla olevista tuotteista voidaan parantaa tavalla tai toisella käyttäen teollista muotoilua. Samoin kaikkien ihmisten käyttämien tuotteiden kaupallinen menestys riippuu vahvasti teollisen muotoilun onnistumisesta, joten sen arvoa osana tuotekehitystä ei voi väheksyä. Usein teollisen muotoilun kautta määrittyvätkin jopa yrityksen imago ja juuri heidän tuotteidensa paremmuus. (Ulrich & Eppinger 2003, 191, 195.)

Vaikka teollinen muotoilu voidaan käsittää jo itsestään prosessina, ja esimerkiksi Ulrich ja Eppinger (2003, 196 - 197) ovat koonneet järjestelmällisen etenemistavan tuon prosessin läpikäyntiin, on tämän opinnäytetyön tiimoilta olennaisempaa keskittyä lähinnä muotoilulliseen näkökulmaan osana tuotekehitysprosessia. Lyhyesti ilmaistuna tämä tarkoittaa käyttäjäystävällisyyttä niin esteettisessä mielessä kuin fyysisessä käytettävyydessäkin. Onkin syytä muistaa, että SymBelt-telan tapauksessa

juuri kuljetusalustapakkaus on asiakkaan ensimmäinen kontakti telaan sekä visuaalisena että toiminnallisena ärsykkeenä.

### **Käytettävyys osana muotoilua**

Kettunen (2001, 33 - 34) määrittelee käytettävyyden ihmisen tavoitteiden ja toiminnan yhteensopivuudeksi tuotteen toiminnan kanssa. Käytettävyydeltään hyvä tuote auttaa käyttäjää tehokkaassa ja virheettömässä työskentelyssä, ja edesauttaa toimintojen muistamisessa käyttötauon jälkeenkin. Hyvän tuotteen voisikin ajatella olevan "oma käyttöohjeensa".

Erityisen tärkeäksi käytettävyys nousee käyttökerroiltaan vähäiseksi jäävän tuotteen ympärillä, jonka käytön täytyy olla tehokasta laajalla käyttäjäkunnalla. Symbelt-telan kuljetusalusta onkin tästä loistava esimerkki. Vaikka se ominaisuuksiltaan ja toimintoiltaan onkin erittäin yksinkertainen, on sen potentiaalinen käyttäjäkunta erittäin laaja, ja käytön tulee olla tehokasta sekä ennen kaikkea turvallista.

Vaikka käytettävyyttä voi olla hankala mitata, voi sitä kuitenkin arvioida erilaisin perustein. Kettunen (2001, 35) listaa viisi mittaria, joilla tuotteen helppokäyttöisyyteen pääsee käsiksi:

1. Nopea ja helppo oppia
2. Tehokas käytössä
3. Helppo muistaa
4. Virheet hallittavissa
5. Tyydyttävä.

Parhaimman kuvan käytettävyydestä saa kuulemalla suunnitteluvaiheessa käyttäjiä. Mitä aiemmassa vaiheessa suunnitteluprosessia mahdolliset käyttäjät saadaan mukaan, sitä suurempi vaikutus sillä lopputulokseen on.

## 5 LUJUUSTARKASTELU KONEENSUUNNITTELUSSA

Koneensuunnittelussa laitteen lujuuden mitoituksella on tärkeä rooli. Toisaalta sen tulee kestää sille tarkoitetut rasitukset ja olla turvallinen, toisaalta taas olla valmistuskustannuksiltaan kilpailukykyinen. Lujuustarkastelu vaatii suunnittelijalta vahvaa osaamista ja kykyä siirtää todellisuuden ongelmat teoreettiseen ympäristöön.

Keskeinen materiaali koneensuunnitteluympäristössä on teräs. Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius ja Välimaa (2010, 110) tuovat teoksessaan ilmi korkean lujuuden ja sitkeyden olevan sen ominaisuuksia, ja tuovat ilmi koneenrakennuksessa vallitsevan pyrkimyksen keventää rakenteita ja optimoida materiaalien lujuus täysipainoisesti. Yleisimmät konepajojen teräslaadut ovat *hieman oiottuna* S235 ja S355, jotka kustannusten puolesta ovat nykyään miltei samanarvoisia.

### Lujuustarkastelu

Yksinkertaisten rakenteiden lujuustarkastelu voidaan suorittaa käsin. Geometrian, reunaehtojen ja kuormien hahmotuttua tilanteesta piirretään vapaakappalekuva, jonka avulla voidaan tarkastella kappaleeseen kohdistuvia jännityksiä, ja lopulta verrata saatuja arvoja materiaalin ominaisuuksiin. Tässä opinnäytetyössä ei tarkastella vedosta ja puristuksesta johtuvia normaalijännityksiä, joten niihin ei ole syytä paneutua enempää. Tarkastelu keskittyykin suoraan leikkausjännitykseen sekä taivutuksesta aiheutuvaan leikkaus- ja normaalijännitykseen.

Mikäli kappaleeseen kohdistuu ainoastaan leikkaavaa kuormitusta, joka ei vaikuta taivuttavasti, saadaan leikkausjännityksen arvo suoraan kaavasta

$$\tau = \frac{V}{A}. \quad (1)$$

Tässä  $V$  on kappaleeseen kohdistuva kohtisuora leikkausvoima ja  $A$  tarkasteltavan kappaleen poikkipinta-ala. (Shigley, Mischke & Budynas 2004, 125)

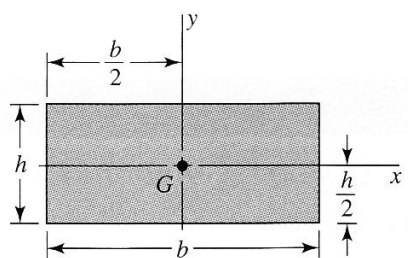
Mikäli kappaleeseen kohdistuu taivutusta, on jännitysten tarkastelu hieman mutkikkaampaa. Ensiksi tulee määrittää tarkasteltavan poikkipinnan neliömomentti. Esimerkiksi suorakaiteen muotoista poikkipintaa voi taivuttaa kahden pääakselin ympäri, ja myös neliömomentti on riippuvainen tästä akselistä. Neliömomentin yleinen muoto on

$$I = \int y^2 dA,$$

mutta tästä voidaan johtaa poikkipintakohtaisia yksinkertaistuksia. Suorakulmiolle neliömomentin kaava yksinkertaistuu muotoon

$$I_x = \frac{bh^3}{12}, \quad (2)$$

jonka merkinnät on nähtävissä kuviossa 11. Erityistä huomiota täytyy kiinnittää siihen, että tässä tapauksessa taivutus tapahtuu juuri x-akselin ympäri. (Shigley ym. 2004, 126 - 127.)



KUVIO 11. Suorakulmion merkinnät (Shigley ym. 2004, 990)

Kun neliömomentti on saatu ratkaistua, ja vapaakappalekuvan avulla saatu kuormitus (taivutusmomentti) on selvillä, voidaan edelleen laskea taivutuksen aiheuttama normaalijännitys kaavalla

$$\sigma = \frac{Mc}{I}, \quad (3)$$

missä  $M$  on taivutusmomentti,  $I$  neliömomentti tarkasteltavan taivutusakselin suhteen ja  $c$  reunaetäisyys neutraaliakselilta. Saatua arvoa voidaan nyt verrata materiaalin ominaisuuksiin. (Shigley ym. 2004, 127.)

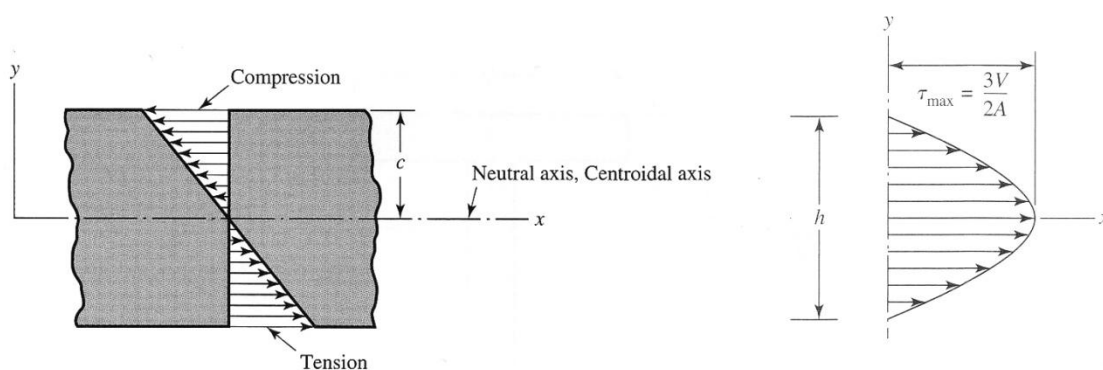
Usein taivutustilanteessa esiintyy myös taivutuksesta johtuvaa leikkausjännitystä. Tämä leikkausjännitys voidaan laskea seuraavasti:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib},$$

missä  $V$  on leikkausvoima,  $I$  jälleen neliömomentti ja  $b$  leikkautuvan poikkipinnan leveys. Suorakaiteen muotoisen poikkipinnan ollessa kyseessä, leikkausjännityksen maksimiarvoksi yksinkertaistuu:

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A}. \quad (4)$$

Huomionarvoista on se, että tämä maksimileikkausjännitys on kappaleen neutraaliakselilla, sen laskiessa parabolisesti kohti nollaa siirryttäessä neutraaliakselilta kohti kappaleen reunaa. Esimerkki tällaisesta jännitysjakaumasta löytyy kuviosta 12. (Shigley ym. 2004, 133 - 136.)



KUVIO 12. Taivutuksesta aiheutuvat normaalijännityksen (vasemmalla) ja leikkausjännityksen jakaumat (Shigley ym. 2004, 127, 135, muokattu)

## FEM

Nykyään yksi keskeisemmistä lujuustarkastelun työkaluista on tietotekniikan mahdollistama FEA (*finite element analysis*). Ylivoimaiseksi sen tekee mahdollisuus tarkastella muodoltaan millaisia kappaleita tahansa, joiden lujuustarkastelu olisi käytännössä mahdotonta laskea käsin. Samoin sen avulla voi asettaa reunaehdot lähes mielivaltaisesti ja tarkastella esimerkiksi lämpötilan aiheuttamia rasituksia. (Akin 2005, 19)

Monesti FEA:sta puhuttaessa puhutaan myös FEM:istä (*finite element method*). Akin (2005, 21) kertoo menetelmän toimivan siten, että kappaleen pinta ja sisus jaetaan viivoilla rajalliseen määrään alkioita, jotka muodostavat verkon. Käytettävä ohjelmisto laskee näiden alkioiden ja asetettujen reunaehtojen avulla rasituksen jokaisessa alkioiden pisteissä luoden siten analyysin koko tarkasteltavasta kappaleesta. Akin (2005, 21) kuitenkin muistuttaa, että alkioiden koolla, ja sitä kautta myös määrällä, on merkittävä vaikutus laskenta-aikaan ja laitteistovaatimuksiin.

Metsolla pääasiallinen suunnitteluohjelmisto on CATIA V5. Myös siinä on mahdollisuus FEM-tarkasteluun erinäisten lisenssien avulla. Tämä mahdollistaakin lujuudellisen optimoinnin jo suunnitteluvaiheessa - ainakin pääpiirteissään. Lujuustarkastelu



vie suunnittelu-aikaa laskentoja odotellessa, joten karkeat lujuustarkastelutkin kannattaa ajoittaa järkevästi.

Lujuustarkastelu on siis ensiarvoisen tärkeä vaihe suunnittelussa. Airila ja muut (2010, 9 - 10) kuitenkin muistuttavat, ettei todellisuus aina vastaa mallinnettua tilannetta, ja laskelmista huolimatta rakenne saattaa vahingoittua. Tämä johtuu todellisuuden epätäydellisyydestä; palkit eivät ole aivan suoria, pistemäiset voimat eivät jakaudu äärettömän pienelle alueelle, eivätkä materiaalit ole ideaalisia ja homogeenisia.

Näiden vaikutus pyritäänkin ottamaan huomioon käyttämään Metsonkin laitteilleen määrittämiä varmuuskertoimia. Nämä varmuuskertoimet ovat myötörajaan verrattuna

- normaaleille koneenosille 1,6
- nostolaitteille 2.

Näihin varmuuskertoimiin on otettu huomioon myös materiaalin epähomogeenisuus arvolla 0,1. (Nostolaitteiden lujuuslaskenta 2010.)

### **Kustannusarviointi**

Yksi keskeinen arvo tämän päivän koneensuunnittelussa on raha. Lopulliset valmistuskustannukset määrittyvät yksittäin valmistettavien tuotteiden tapauksessa vasta joidenkin valmistuserien jälkeen, mutta kustannuksista saa arvion myös suunnitteluvaiheessa. Usein konepajaympäristössä varsinkin teräksestä valmistettavien rakenteiden arvioinnissa voidaan käyttää yrityksen arvioimaa "€/kg" -arvoa. Tämä arvo perustuu kokemukseen samankaltaisten tuotteiden toteutuneista kustannuksista, ja sillä pääsee usein lähelle lopullisia hintoja.

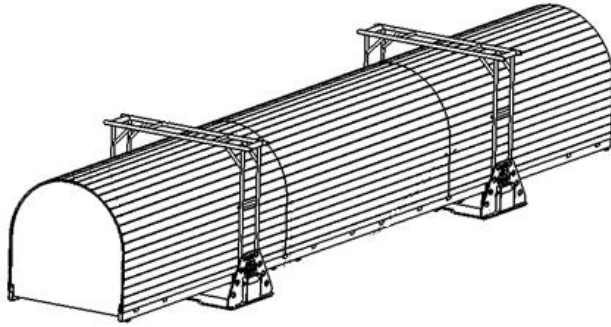
Karhu (2013) kertoo haastattelussaan hintahaarukan, jossa hän epäilee kuljetusalustan hitsatun teräsrakenteen liikkuvan. Samoin häneltä saadulla laskurilla voidaan laskea muidenkin telatyypin pakkauksessa käyttämän lautamaton hintaa. Arvot löytyvät liitteestä 5: SymBelt-telan kuljetusalustan kustannusarvio.

## **6 SYMBELT-TELAN KULJETUSALUSTAN TUOTEKEHITYSPROSESSI**

Tehokas työskentely vaatii järjestelmällisen lähestymistavan. SymBelt-telan uuden kuljetusalustan tuotekehitysprosessi noudattelikin luvussa 4.2 esiteltyä mukaelmaa Pahlin ja Beitzin (1990) sekä Ulrichin ja Eppingerin (2003) järjestelmällisistä prosesseista, pitäen luovan otteen muun muassa muotoilullisissa näkökulmissa.

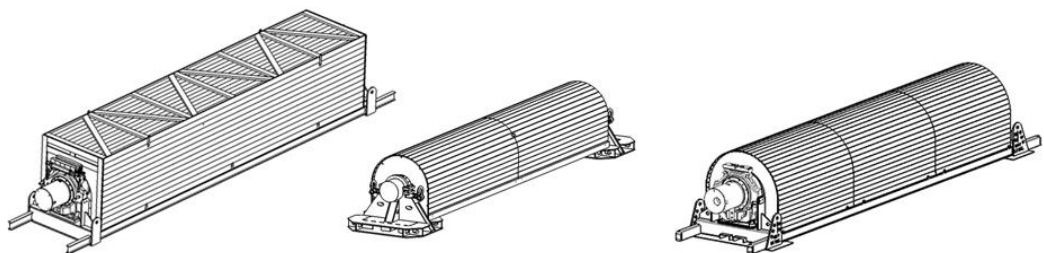
### **6.1 Lähtökohdat ja tehtävänasettelun selvittäminen**

Opinnäytetyö juontaa juurensa loppukesään 2012. Tuolloin kävi ilmi, että tarvitaan uusi kuljetusalusta, jolla voitaisiin kuljettaa juuri suunnitteluun tullut uuden rakenteen omaava SymBelt-tela. Uutta telaa varten ideoitu kuljetusalusta jäi silloisen työsuhteen loppuessa kesken, ja sitä kehitettiin edelleen kouluprojektina Jyväskylän ammattikorkeakoulun *Design project* -opintojaksolla syyslukukaudella 2012. Alunperin opinnäytetyössä olikin tarkoituksena tuotteistaa kouluprojektissa eteenpäin viety, kuvion 13 mukainen kuljetusalusta, mutta lopulta päädyttiin kokonaan uuden kuljetusalustan kehittämiseen. Tähän vaikuttivat muun muassa yhtiön johdon asettamat kustannustavoitteet.



KUVIO 13. Design project -opintojaksolla ideoitu kuljetusalusta (RAUZU04552)

Ennen kuvion 13 mukaista kuljetusalustaa SymBelt-teloja on kuljetettu kolmella erityyppisellä alustalla, joista esimerkit löytyvät kuviosta 14. Ensimmäiset versiot, joita kuvion 14 vasemmanpuoleisin kuljetusalustatyyppi edustaa, on suunniteltu Metson Karlstadin yksikössä, jossa SymBelt-telojenkin suunnittelu alun perin tapahtui. Siinä, kuten oikeimmanpuoleisessakin kuljetusalustatyyppissä, telan tuenta ja kiinnitys tapahtuvat telan laakeripesiin ruuvikiinnityksellä, keskimmaisessä kiinnityksen ja tuennan tapahtuessa telan akselintapeilta pantakiinnityksellä.








KUVIO 14. Ennen vuotta 2012 suunnitellut SymBelt-kuljetusalustat

Niin aikaisemmissa kuin tässä opinnäytetyössäkin kehitetyssä kuljetusalustassa keskitytään ainoastaan maantie- ja merikuljetukseen. Lento- ja rautatiekuljetukset asettavat huomattavasti korkeammat lujuusvaatimukset kuljetusalustoille ja ovat muutenkin maantie- ja merikuljetusta paljon harvinaisempia. Joitain lentokuljetusalustoja on kuitenkin SymBelt-teloillekin aikojen saatossa tehty.

### Tehtävänasettelun selvittäminen

Ensimmäisenä kerättiin kaikki saatavilla oleva tieto projektia koskien. Tietojen selvittäminen tapahtui pääasiassa henkilöhaastatteluin ja soveltaen aikaisemmin karttunutta tietoa ja kokemusta kuljetusalustoista. Samalla tuli pyrkiä pitämään objektiivinen ja kaikelle avoin suhtautuminen, jottei aiempi kokemus rajoittaisi prosessia, vaan tukisi sitä.

Kerättyjen tietojen perusteella laadittiin vaatimuslista, johon jaoteltiin toiveet, kiinteät vaatimukset ja vähimmäisvaatimukset kategorioittain. Kuviossa 15 on ote laaditusta vaatimuslistasta, ja lista kokonaisuudessaan löytyy liitteestä 1.

		SymBelt-telan kuljetusalustan vaatimuslista	Luotu 13.2.2013
Muutospvm	Tyyppi	Vaatimukset (Vähimmäisvaatimus (VV), Kiinteä vaatimus (KV), Toive (T))	Huomioita
		<b>1. GEOMETRIA</b>	
	VV	Toimittava kaikenpituksilla teloilla. Telojen maksimipituudet kokoluokittain (laakeriväli, mm):  (D1095),  (D1250),  (D1425),  (D1595).	
	VV	Kokoluokittaiset mitat (korkeus, laajuus). Enäkekoisuus	Koottu erilliseen taulukkoon; Telan Mitat Alustan

KUVIO 15. Ote SymBelt-telan kuljetusalustan vaatimuslistasta

Tässä vaiheessa laadittiin myös aikataulu projektin toteuttamiselle, jotta käytettävissä olevat resurssit pystyttiin käyttämään tehokkaasti hyödyksi. Työskentely oli mahdollista niin toimeksiantajan ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun tiloissa kuin kotona-kin, joten opinnäytetyön suorittaminen pystyttiin optimoimaan esimerkiksi opintojen kanssa.

## 6.2 Kuljetusalustan tuotekehityksen luonnosteluvaihe

Ensimmäinen vaihe luonnostelussa oli abstrahointi. Tällä pyrittiin muotoilemaan ongelma niin neutraaliksi, ettei tehtävänasettelu vaikuttaisi luonnosteluvaiheen luovaan prosessiin. Tähän sovellettiin luvussa 4.2.2 esiteltyä viisiportaista järjestelmällistä tarkastelua. Seuraavassa on käyty läpi koko vaatimuslista vaiheittain läpi:

1. vaihe; Jätetään toiveet pois:

- (VV) Toimittava kaikenpituusilla teloilla. *Telojen pituudet liitteessä 1.*
- (VV) Kokoluokkakohtaiset mitat (korkeus, leveys). Epäkeskeisyys huomioitava! (Koottu erilliseen taulukkoon).
- (VV) Kuljetustavan rajoite: pakkauksen ulkomitat 2 223 x 1 940 x 11 810 mm.
- (VV) Pystyttävä liikuttelemaan 8 000 mm korkuisessa tilassa standardimittaisiin nostorakseihin.
- (KV) On pystyttävä käyttämään normaaleja kuljetusyhtiöiden käyttämiä si-  
dontavälineitä (esim. koukut).
- (KV) Oltava yhteensopiva uuden- ja vanhantyyppisen telarakenteen kanssa.
- (KV) Ei kiilaa akselin keskellä.
- (VV) Nostettaessa kestettävä telojen aiheuttama kuormitus varmuuskertoi-  
mella 2. *Telojen maksimipainot kokoluokittain liitteessä 1.*
- (VV) Kuljetuksen aikana kestettävä voimat: 1 G eteenpäin, 0,5 G taaksepäin ja  
0,8 G sivuttain.

- (KV) Täytyy suojata sisältöä pieniä iskuja (esim. trukin kolhaisu) vastaan.
- (KV) Käytetyn puumateriaalin täytyy olla lämpökäsiteltyä.
- (KV) Valmiin pakkauksen tulee suojata telaa lialta ja kosteudelta.
- (KV) Käyttö- ja hoitopää merkittävä selkeästi.
- (KV) Painopiste merkittävä selkeästi.
- (KV) Nosto- ja sidontaohjeet oltava selkeät ja kuljettava kuljetusalustan mukana.
- (KV) Käyttö oltava selkeää ja väärinkäyttö hankalaa.
- (VV) Nostot mitoitettava myötörajaan nähden varmuuskertoimella 2, muut kuormitukset 1,6.
- (KV) Projektikohtaiset työpiirustukset on pystyttävä tekemään helposti ja nopeasti.
- (KV) Osien toisiinsa sopivuus varmistettava valmistusvaiheessa.
- (KV) Täytettävä mannertenvälisen kuljetuksen vaatimukset.
- (VV) Valmistuskustannukset oltava alle vaatimuslistassa (liite 1) esitetyn rajan.

2. vaihe; Jätetään pois vaatimukset, jotka eivät vaikuta välittömästi tuotteen toimintaan tai oleellisiin ehtoihin:

- (VV) Toimittava kaikenpituisilla teloilla. *Telojen pituudet liitteessä 1.*
- (VV) Kokoluokkakohtaiset mitat (korkeus, leveys). Epäkeskeisyys huomioitava! (Koottu erilliseen taulukkoon).
- (VV) Kuljetustavan rajoite: pakkauksen ulkomitat 2 223 x 1 940 x 11 810 mm.
- (KV) On pystyttävä käyttämään normaaleja kuljetusyhtiöiden käyttämiä sidontavälineitä (esim. koukut).
- (KV) Oltava yhteensopiva uuden- ja vanhantyyppisen telarakenteen kanssa.
- (KV) Ei kiilaa akselin keskellä.

- (VV) Nostettaessa kestettävä telojen aiheuttama kuormitus varmuuskertoimella 2. *Telojen maksimipainot kokoluokittain liitteessä 1.*
- (VV) Kuljetuksen aikana kestettävä voimat: 1 G eteenpäin, 0,5 G taaksepäin ja 0,8 G sivuttain.
- (KV) Täytyy suojata sisältöä pieniä iskuja (esim. trukin kolhaisu) vastaan.
- (KV) Käytetyn puumateriaalin täytyy olla lämpökäsiteltyä.
- (KV) Käyttö- ja hoitopää merkittävä selkeästi.
- (KV) Painopiste merkittävä selkeästi.
- (KV) Nosto- ja sidontaohjeet oltava selkeät ja kuljettava kuljetusalustan mukana.
- (VV) Nostot mitoitettava myötörajaan nähden varmuuskertoimella 2, muut kuormitukset 1,6.
- (KV) Täytettävä mannertenvälisen kuljetuksen vaatimukset.
- (VV) Valmistuskustannukset oltava alle vaatimuslistassa (liite 1) esitetyn rajan.

3. vaihe; Kvantitatiiviset vaatimukset muutetaan kvalitatiivisiksi, ja muokataan yleisempään muotoon:

- Toimittava kaiken mittaisilla SymBelt-teloilla.
- Toimittava kaikilla SymBelt-telakoilla.
- Mahduttava ulkomittojen puolesta pienimpään rajoittavaan kuljetusvälineeseen.
- On pystyttävä käyttämään normaaleja kuljetusyhtiöiden käyttämiä sidontavälineitä (esim. koukut).
- Oltava yhteensopiva uuden- ja vanhantyyppisen telarakenteen kanssa
- Ei kiilaa akselin keskellä.
- Kestettävä kaikenpainoisten telojen nosto lujuuslaskennan määräämällä varmuuskertoimella.

- Kuljetuksen aikana kestävä määrätyt rasitukset.
- Täytyy suojata sisältöä pieniä iskuja (esim. trukin kolhaisu) vastaan.
- Käytetyn puumateriaalin täytyy olla lämpökäsiteltyä.
- Käyttö- ja hoitopää merkittävä selkeästi.
- Painopiste merkittävä selkeästi.
- Nosto- ja sidontaohjeet oltava selkeät ja kuljettava kuljetusalustan mukana.
- Käytettävä sopivia varmuuskertoimia lujoustarkastelussa.
- Täytettävä mannertenvälisen kuljetuksen vaatimukset.
- Oltava edullinen.

4. vaihe; Laajennetaan ja yleistetään edelleen vaatimuksia mielekkäästi:

- Toimittava kaikissa kokoluokissa, kaiken mittaisilla SymBelt-teloilla, riippumatta rakenteesta.
- Mahduttava ulkomittojen puolesta pienimpään rajoittavaan kuljetusvälineeseen siten, että se voidaan sitoa yleisillä sidontavälineillä.
- Selkeät kuljetusta koskevat merkinnät.
- Täytettävä mannertenvälisen kuljetuksen ja nostojen vaatimukset, sekä suojattava pieniltä iskuilta.
- Oltava edullinen.

5. vaihe; Muotoillaan ongelma neutraaliksi:

*Edullinen, mannertenvälisiin kuljetuksiin soveltuva ja selkein merkinnöin varustettu kuljetusalusta kaikille SymBelt-teloille.*

Vaatimuslistan pohjalta pystyttiin siis abstrahoimaan koko ongelma yhdeksi lauseeksi. Toki tässä täytyy muistaa, että esimerkiksi "mannertenvälisiin kuljetuksiin soveltuva" pitää sisällään suuren määrän muun muassa turvallisuuteen liittyvää informaatio-



ta, joka ei ole näkyvässä. Tämä kuitenkin auttoi ajattelemaan luovasti ja pitämään niin sanotun *laatikon ulkopuolisen* näkökulman luonnosteluun.

### Ideointi

Aikaisemmissa, ennen tätä opinnäytetyötä olleissa ideointipalaverissa oli hahmoteltu jo esimerkiksi telan kuljettamista paineenkä alaspäin tai akselin kiinnittymiskohdasta kuljetusalustaan. Abstrahoinnin tuloksen avulla tätä laajennettiin vielä edelleen. Taulukossa 3 on kirjattuna erilaiset vaihtoehdot, jotka telan kuljetusta ideoitaessa tuli ilmi. Näiden avulla saatiin luotua rajaehdoja kuljetusalustan toteutusmahdollisuuksiin.

TAULUKKO 3. Kuljetusalustan ideointimatriisi

	1	2	3	4
<b><u>Telan asento</u></b>	Paineenkä ylös	Paineenkä alas		
<b><u>Telan tuenta</u></b>	Laakeripesistä	Akselin pohjasta	Akselitapeilta	
<b><u>Nosto</u></b>	Akselilta	Akselitapeilta	Kuljetusalustasta	
<b><u>Sidontapisteiden sijainti</u></b>	Akselissa	Kuljetusalustassa		
<b><u>Telan suojaus</u></b>	Puulaatikko	Lautamatto	Vaneri	Muoviputki

Kaikki taulukossa 3 esitetyt ideat eivät lopulta olleet toteutuskelpoisia, ja osa vaikutti selvästi toisia paremmilta. Myös tietynlaista kustannusarviointia pystyttiin tekemään jo tässä vaiheessa, ja sen pohjalta voitiin jo rajata tiettyjä mahdollisuuksia pois. Jos esimerkiksi verrataan telan asentojen vaikutuksia, on painekengän asettaminen telan yläpuolelle selkeästi parempi vaihtoehto; Mikäli paineenkä olisi alaspäin, tulisi se

tukea jollain tavalla kengän alaspäin valumisen estämiseksi, eikä telaa voisi laskea painekengän varaan, sillä sen vaurioituminen olisi erittäin todennäköistä.

Myös telan tuenta laakeripesistä vaikutti erittäin vaikealta uuden rakenteen omaavi- en laakeripesien tapauksissa. Vaikka olisikin mahdollista laskea tela laakeripesien varaan, ei sen kiinnittäminen kuljetusalustaan tukevasti näyttänyt olevan mahdollis- ta. Uuden laakeripesän kiinnittäminen vanhan tavoin ei ole mahdollista, sillä sen si- vut ovat rakenteellisesti tärkeitä alueita - niihin ei voi koneistaa kiinnityspaikkoja, eikä niitä voi sallia rasitettavan kuljetuksen aiheuttamilla kuormituksilla. Laakeripe- sistä kiinnitettäessä täytyi myös muistaa, ettei akseli kiinnity laakeripesään muutoin kuin telan toisessa päässä olevalla seger-renkaalla, jonka pitävyys onnettomuustilan- teessa ei ollut varma.

Telan suojaukseen liittyen voitiin myös pureutua jo tässä vaiheessa. Kysely Parkanon Muovituotteelta osoitti soveltuvan muoviputken olevan kustannusten puolesta täy- sin poissuljettu sen maksaessa liki 500 €/m, ja se vaatisi tästä huolimatta kestävä- män tukirakenteen. Vaatimuslistan kustannusraja ylittyisi siis jo pelkän muoviputken kustannuksilla, mikäli putkea tarvittaisiin yli 12 metriä.

Vanerin käyttö suojauksessa hylättiin niin ikään aikaisessa vaiheessa. Riittävän kestä- vän ja taipuisan vanerisuojan kustannukset olisivat entisen vanerityöläisen mukaan melko korkeat, eikä vanerisuojan varastointiin saatu hyvää ratkaisua; ne kun veisivät sisäkkäinkin aseteltuna melkoisesti tilaa, eikä ulkovarastointi olisi niiden kohdalla mahdollista kosteuden aiheuttamien haittojen vuoksi. Koon ja kustannusten takia hylättiin myös puulaatikon käyttö telan suojaamiseen.

Seuraavaksi tuumittiin noston toteuttamista. Mikäli telaa nostettaisiin akselilta pai- nekengän ollessa ylöspäin, ei akselin yläpintaan jäisi tilaa koneistaa kierre- eikä läpi- reikiä nostosakkeleita varten. Näin ollen tela tulisi nostaa akselin alaosasta, jolloin nostoraksit saattaisivat vahingoittaa muun muassa levityspuolia ja telan kor-

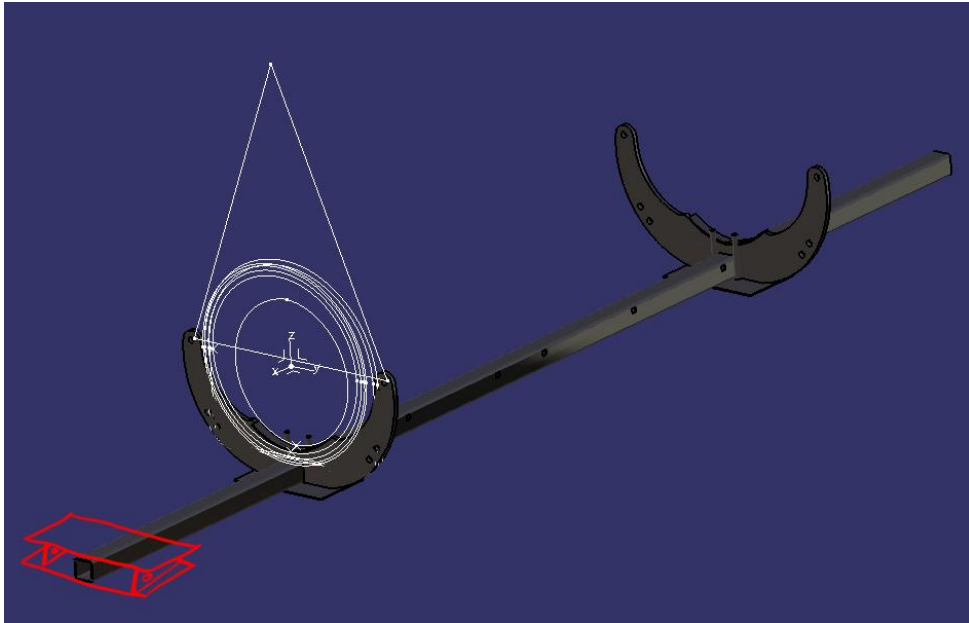
roosiosuojauksen pakkausta. Näin ollen nosto akselilta vaatisi jonkinlaisen levityslaitteen kiinnittämistä akselin pohjaan.

### **Luonnosten laatiminen**

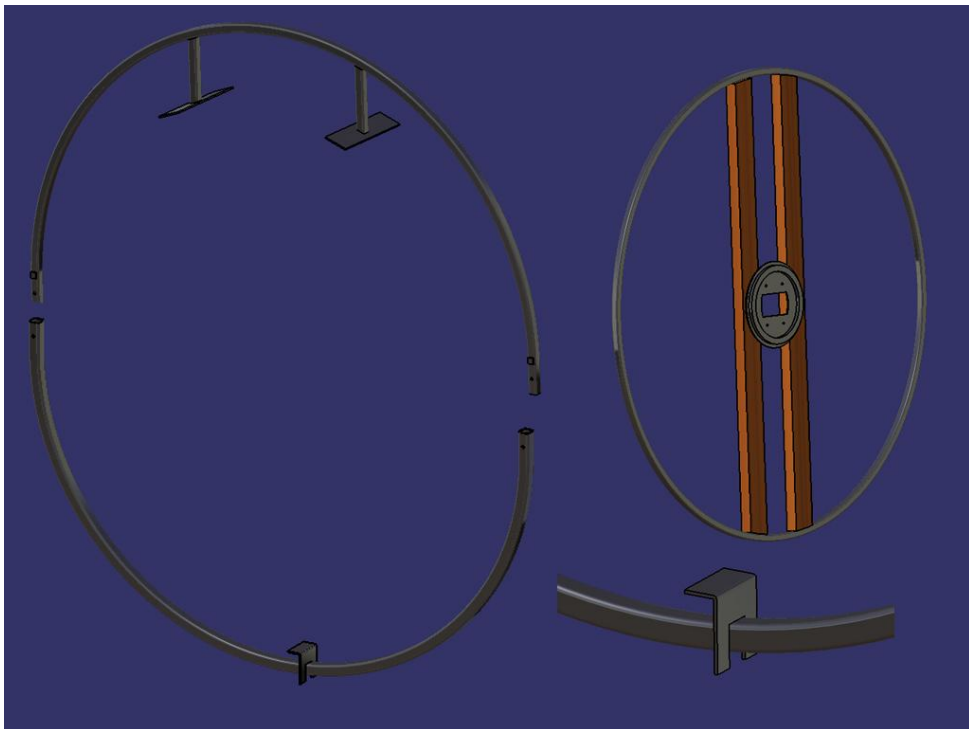
Kun rajaehdot oli saatu asetettua, aloitettiin ideointi kynän ja paperin kanssa itsenäisenä ideointina. Piirtämällä suoritettu ideointi ei aseta mitään rajoitteita fyysisille mahdolltomuuksillekaan, ja yhdessä kolmiulotteisen ajattelun kanssa se muodosti yhden keskeisimmistä luomistekniikoista. Toki on muistettava, että suunniteltaessa fyysistä tuotetta, fysikaaliset mahdolltomuudet eivät tule kyseeseen. Niiden avulla voidaan kuitenkin saada parhaassa tapauksessa aikaan rajoja rikkovia ideoita ajatusmaailman laajenemisen vuoksi.

Tässä vaiheessa piirrettiin paperille lukuisia ideoita kuljetusalustan toteuttamiseksi, ja usein käytettiin luvussa 4.2.2 esiteltyä toiveajattelua; "Entä jos nostolevy olisikin poikittain akselisuuntaa vastaan?", "Entä jos kuljetusalustassa olisikin vain yksi runkopalkki koko rakenteen läpi?", "Entä jos lautamatot asettuisivatkin sylinterimäiseen muotoon?" jne.

Kun käsin piirretyt mallit olivat prosessoituneet kylliksi, niistä tehtiin esiteltävä versio 3D-ympäristössä. Esimerkkejä näistä on kuvioissa 16 ja 17. Tehdyt mallit toimivat pohjana järjestetyssä ideointipalaverissa - aivoriihessä. Tässä palaverissa oli mukana SymBelt-osaston suunnittelijoiden lisäksi myös Sym-osaston henkilöstöä. Mukaan oli kutsuttu myös imutela-osaston asiantuntijoita, mutta he eivät päässeet osallistumaan.



KUVIO 16. Aivoriihessä esitelty kuljetusalustan runkokonsepti



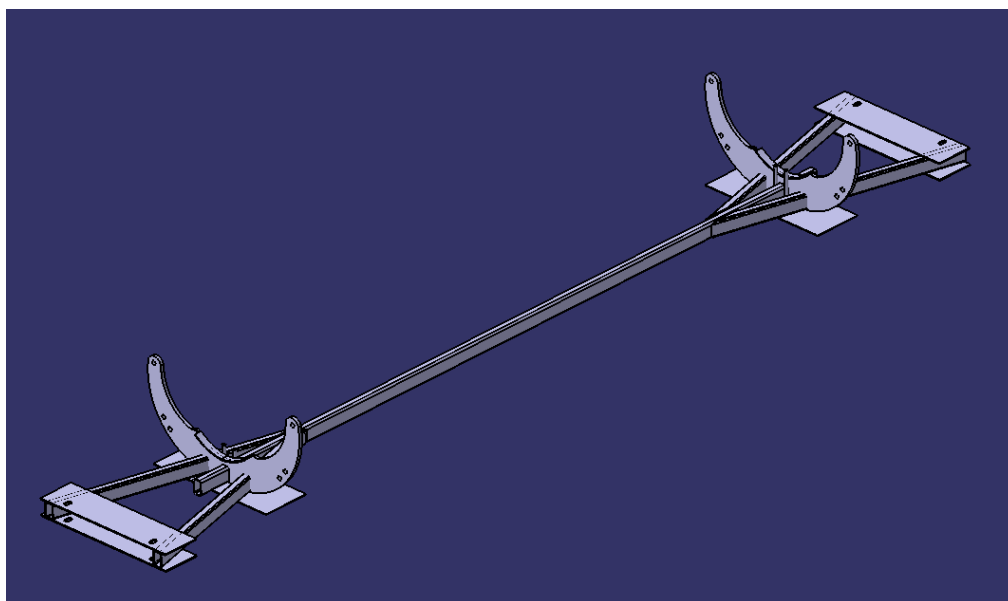
KUVIO 17. Aivoriihessä esiteltyjä telan suojauksen tukirakenteita

Esitelty konsepti-idea koostui yhtenäisestä kuljetusalustarungosta ja sen päälle telan ympäri kasattavasta lautasuojan kehikosta. Rungossa olisi kaksi kiinteää pyöreää kii-  
laa molemmissa päissä, jotka ottaisivat vastaan kuljetuksessa mahdollisesti syntyvät  
rasitukset. Tela asettuisi akselin pohjasta pystyasennossa poikittain olevien paksujen  
levyjen päälle, joista myös telapakkauksen nosto ja sidonta tapahtuisi. Lisäksi yksit-  
täinen runkopalkki toimisi puskurina telan pituussuunnassa, ja sen päihin voitaisiin  
lisätä kuviossa 16 punaisella esitetty ristikkäisen sidonnan mahdollistava rakenne.

Telan suojaus tapahtuisi runkopalkissa olevien reikien läpi pujotettavista, pysäyttimin  
varustetuista kaarista, jonka ruuvein kiinnitettävä yläosa lepäisi akselin päällä tukien-  
sa varassa. Akselitappien päihin kiinnitettäisiin kuviossa 17 oikealla oleva kehäraken-  
ne, jonka jälkeen koko telan kattavan kaarirakenteen päällä ruuvattaisiin lautamatto.

Pääpiirteissään aivoriihi eteni tehtyjen mallien ja niiden takana olevien ajatusten esit-  
telyn jälkeen vapaaseen ideointiin. Sen aikana tulleet ideat, parannusehdotukset se-  
kä kommentit otettiin ylös ja luonnosteltiin, ja näitä hyväksikäyttäen kehitettiin kulje-  
tusalustaa edelleen. Perusajatus vaikutti ryhmän mielestä toimivalta, merkittävimpi-  
en parannusehdotuksien liittyessä rungon rakenteeseen sekä kaarirakenteen toteut-  
tamiseen. Yksittäinen runkoputki ei välttämättä kestäisi vääntäviä kuormia, joita  
saattaisi esiintyä päästä tapahtuvien sidontojen vuoksi. Lisäksi akselitappien päähän  
ei olisi mahdollista koneistaa kiinnityspaikkoja ideoiduille kehärakenteille.

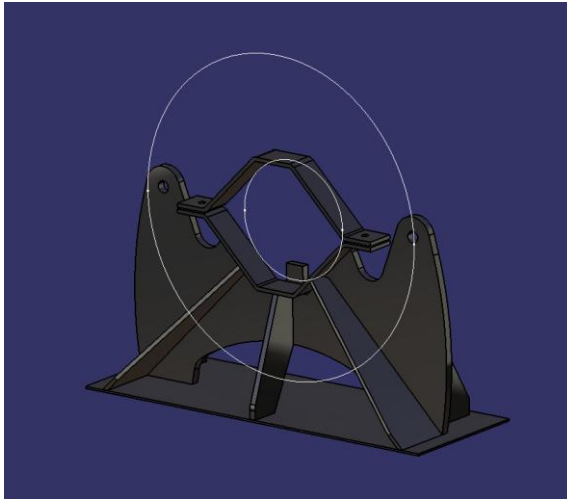
Yksi ajatus oli poistaa koko runkoputki. Kaarien kiinnitys tapahtuisi rungon läpi pujot-  
tamisen sijaan suoraan akselille, ja materiaalina voisi olla teräksen ohella myös vane-  
ri. Pitkittäinen puskurointi pitäisi näin tehdessä toteuttaa vielä ratkaisemattomin  
keinoin, mutta muuten rakenne olisi kehityskelpoinen.



KUVIO 18. Aivoriihen jälkeen kehitelty vääntöjäykempi konsepti

Aivoriihen jälkeen ensimmäinen rakenneidea oli kuvion 18 mukainen. Siinä ei jätettäisi runkopalkkia kokonaan pois, vaan rakenteen vääntöjäykkyyttä ja puskuriominaisuutta lisättäisiin rakenteellisesti. Runkopalkki olisi huomattavasti pienempi profiilinen, ja sen tarkoituksena olisi jakaa kuormitusta tasaisemmin. Telan suojaaminen toteutettaisiin akseliin kiinnitettävien teräs- tai vanerikaarin, telan tukeutuessa kuljetusalustaan akselin alapinnasta.

Tämän jälkeen idea muovautui erillisiin akselitapeille sijoittuviin kuljetustukiin. Tälläin voitaisiin kuljetusten aikaisten rasitusten vastaanottamiin käyttää telassa olevaa momenttikiilan kiilauraa, ja kuljetustuki toimisi ikään kuin automaattisesti myös puskurina. Telan suojaamiseen käytettäisiin edelleen teräs- tai vanerikaaria, joiden päälle kiinnitettäisiin lautamatto. Tämä idea esiteltiin aiemmin aivoriihessä olleelle ryhmälle, ja se vaikutti erittäin hyvältä ja toimivalta konseptilta. Kuljetustuen ensimmäinen versio on esitetty kuviossa 19.



KUVIO 19. Kuljetusalustan päätytuen ensimmäinen versio

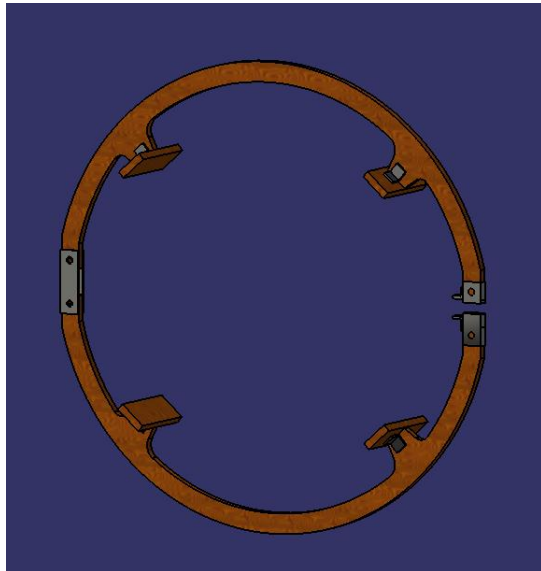
Pääpiirteissään konsepti oli muokkautunut eteenpäin varsin luonnolliselta tuntuvalta osittaisten parannusten viitoittamalla tavalla. Myös asiantuntija-arviot sekä vaatimustan mahdollisimman laaja huomioon ottaminen edesauttoivat konseptin kehitymisessä. Tässä vaiheessa suurimmiksi kysymyksiksi osoittautuivat akselintapin ympäri tulevan pannan muoto (joko kantattu tai valssattu levy) sekä kaarien materiaali ja rakenne. Itse konsepti oli kuitenkin saatu luotua siihen pisteeseen, että pystyttiin siirtymään tuotekehitysprosessin seuraavaan vaiheeseen.

### 6.3 Kehittelyvaihe

Vaikka konseptien pisteytetty valinta yleensä kuuluukin luonnosteluvaiheeseen, koska SymBelt-telan kuljetusalustan kehittämissä ainoastaan yksittäisiä osatoimintoja. Itse konseptin ollessa muutoin valmis, oli tässä tapauksessa perusteltua häivyttää luonnostelun ja kehittelyn rajaa, pitäen mielessä myös prosessin iteratiivinen luonne - milloin tahansa saatettaisiin palata taaksepäin.

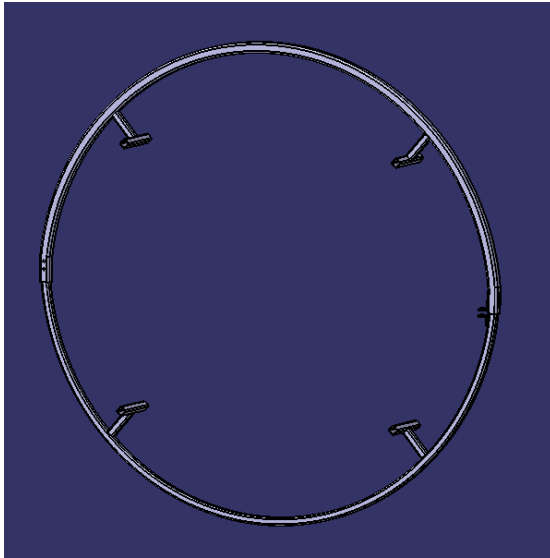
### Kaarien valinta

Telan pakkauksen tuennan kaarivaihtoehtoja oli siis kaksi: kuvion 20 vanerikaari ja kuvion 21 teräskaari. Molempien vaihtoehtojen oletettiin tarjoavan riittävän lujuuden käyttötarkoitukseensa. Tässä valintaan vaikuttavia seikkoja kertoi Metson hankintainsinööri Karhu (2013). Hänen mukaansa valmistuskustannuksissa ei juuri ole eroa, mutta esimerkiksi varastoinnissa teräskaari olisi huomattavasti parempi. Teräskaari valmistettaisiin hitsaamalla valmiiksi työstetyt kappaleet toisiinsa, ja vanerikaaren tapauksessa esimerkiksi laser-leikatut vanerikappaleet liitettäisiin toisiinsa ruuvaamalla ne valmistettujen teräskiinnikkeiden avulla.



KUVIO 20. Vanerikaari telan pakkauksen tuentaan





KUVIO 21. Teräskaariehdotus telan pakkaukseen tuentaan

Taulukossa 4 on esitetty pisteytys molemmille kaarivaihtoehdoille. Arviointiasteikkoa on 1 - 5, viiden ollessa positiivisin vaikutus. Pisteiden perusteella valittiin jatkokehittelyyn teräskaari, mutta tulevaisuudessa kannattaa muistaa myös vanerin tuomat hyödyt.

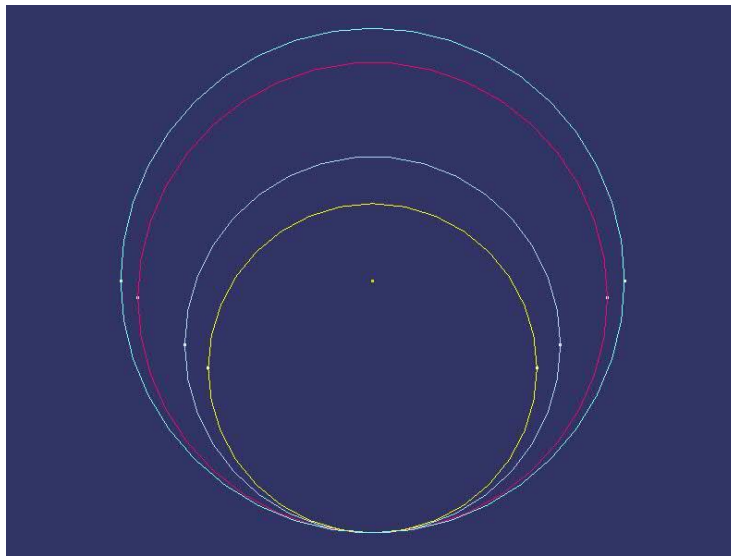
TAULUKKO 4. Kaarivaihtoehtojen arviointi

	<u>Vanerikaari</u>	<u>Teräskaari</u>
<b>Lujuus</b>	4	4
<b>Asennettavuus</b>	4	4
<b>Hinta</b>	4	3
<b>Varastoitavuus</b>	3	5
<b>Osien lkm</b>	3	4
<b>Valmistuksen helppous</b>	3	3
<b>Yhteensä</b>	21	23

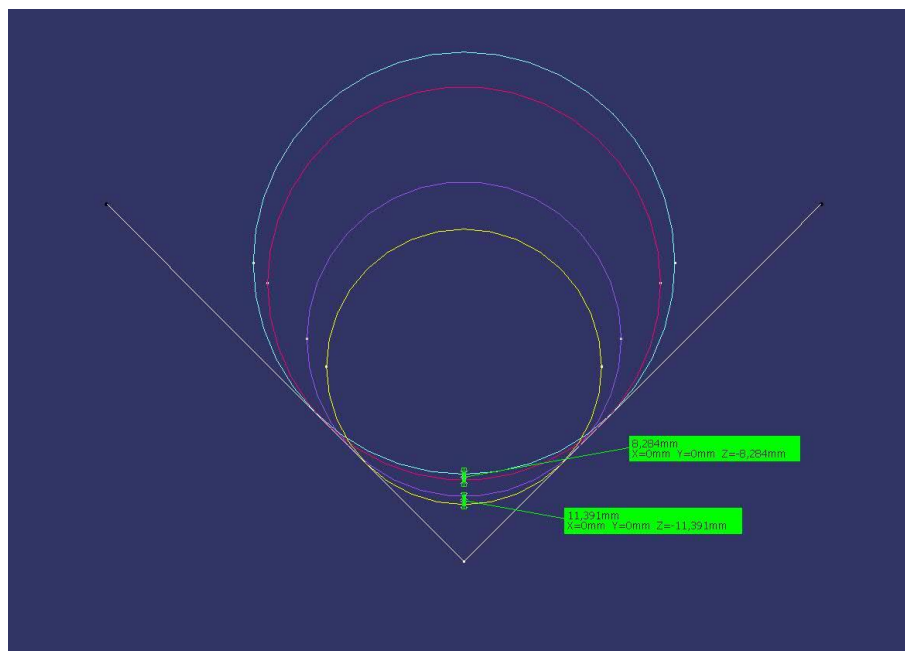
### Kiinnityspannan tutkiminen ja valinta

Akselitapin kiinnittävän pannan rakennetta tutkittiin mallintamalla eri kokoluokkien akselitapit samaan kuvaan. Tässä vaiheessa tehtiin myös periaatepäätös, että kuljetustukia tulisi neljää telakkoa varten kaksi; D1095 ja D1250 telat kuljetettaisiin pienemmillä kuljetustuilla ja D1425 sekä D1595 isommilla. Painorajaksi pienemmälle kuljetustuelle valittiin 40 000 kg, jotta suurin tiedossa oleva D1250 tela voitaisiin kuljettaa vaivatta.

Kahden kuljetustuen tapauksessa voidaan kuviossa 22 olevat kaksi sisintä ympyrää ajatella kuljetettavan samalla pannalla, jonka säde olisi sama kuin näistä ympyröistä isommalla. Sama ajattelutapa pätee myös kahteen suurempaan ympyrään.



KUVIO 22. Akselitapit ja valssatut pannat



KUVIO 23. Akselitapit kiilamaisesti tuettuna

Kuviossa 23 on akselintapit puolestaan laskettu kiilamaiselle alustalle. Kun verrattiin näitä kahta tuentatapaa, huomattiin, että valssatulla kaarella varustettu tuentatapa on optimaalinen ainoastaan suuremmalle tarkoitetulle akselitapille. Pienemmällä akselitapilla kuormittuva pinta-ala on erittäin pieni, eikä tuentatapa tarjoa suoraa sivuttaistukea laisinkaan. Tarkastelussa täytyy muistaa, että se koskee ainoastaan alapuoleista tuentaa, eikä yläpantaa huomioitu. Tämä ei kuitenkaan valssatun pantan tapauksessa juuri lisää kuormittuvaa pinta-alaa eikä sivuttaistuentaa.

Tarkastelujen perusteella päädyttiin siihen, että kiilamaisesti tuettu pantarakenne toimii useiden telakokojen kanssa paremmin. Se myös antaa enemmän tilaa mahdollisille työtavoista ja materiaaleista johtuville virheille valmistuksessa. Samoin huomattiin, että ero akselitapin alapinnan vertikaalisessa paikoittumisessa on pienemmässä kokoluokassa n. 11 mm, ja isommassa ainoastaan n. 8 mm. Tämä huomio edesauttaa kiilan kestävyyttä.

Akselitapin tuentaa varten tarvitaan pintapaineen jakamiseksi akselin ja kuljetuspu-kin pannan väliin kumimatto. Tämä matto voitaisiin kietoa telan pakkaamisen yhteydessä akselitapin ympärille, eikä sitä tarvitsisi kiinnittää kuljetuspukkiin.

Telan käyttöpäässä on akselitapille koneistettu ura telan nostoja varten. Tähän uraan voidaan pakkauksen yhteydessä asettaa telan toisen pään kumimattoa 10 mm paksumpi kumimatto, jolloin akseli tukeutuu uran alueelta kuljetuspukkiin.

### **SymBelt-telan kuljetusalustan muotoilu**

Kuten aiemminkin on tuotu esille, on asiakkaan ensimmäinen ärsyke SymBelt-telasta juuri sen pakkaus kuljetusalustoineen. Näin ollen katsoin järkeväksi miettiä hetken sen esteettistä vaikutelmaa.

Jo luonnosteluvaiheessa kuljetustukiin luotiin voimakas ja huomiota herättävä ilme. Kehittelyvaiheessa tätä jatkettiin. Yhtenäisillä ja selkeillä linjoilla haluttiin aikaansaada futuristinen ja tehokas tyyli, joka samalla huokuu luujuudellista optimointia. Jotta kuljetustuki saatiin kestämään sille asetetut lujuusvaatimukset, tarvittiin muotoilun ja lujuustarkastelun välillä useita iteraatiokertoja.

Levyjen työstö ei aseta rajoja muotoilulle. Monimutkaistenkin levymuotojen työstäminen on mahdollista nykyään käytössä olevien tietokoneohjattavien polttoleikkaimien avulla. Usein näille voidaan viedä suoraan 3D-ympäristössä suunnitellusta mallista muokattu erillinen ohjaustiedosto, jolloin työpiirustuksen tärkeys ilmenee enemmänkin tarkastuksessa, kuin varsinaisessa työkoneneen ohjelmoinnissa. Esimerkkejä tällaisista tiedostomuodoista ovat dxf ja dwg.

Muotoilun yhteydessä kiinnitettiin myös sidontaan käytettävien koukkujen läpivientien mitoitus. Mitatessa Huumarkankaalta (2013) haastattelun yhteydessä saatua koukkua selvisi, että pyöristetyin nurkin oleva 130 mm leveä ja 45 mm korkea reikä olisi optimaalinen käyttötarkoitusta ajatellen.

### **Törmäystarkastelu**

Kuljetustukien malleista koottiin eri kokoluokkien telojen kanssa neljä kokoonpanoa, jotta pystyttiin näkemään kuinka telan eri osat kuljetusalustan tukiin nähden käyttäytyvät. Projektit, joista telamallit otettiin, olivat:

- FPCCONSE (D1095)
- FRÖVI (D1250)
- NAPPPM1 (D1425)
- AHSYGAP (D1595).

Törmäystarkastelu suoritettiin manuaalisesti CATIA V5R21 *Assembly designilla* liikutteleamalla telasta tehtyä cgr-mallia ja kuljetustukea. Päätyjen pysäyttämiseen käytettävät mekanismit vaikuttivat olevan ongelmana kaikissa kokoluokissa, samoin mietittiin käyttöpäässä oleva syvennys akselitapissa. Tämä syvennys heikensi pintapaineen jakautumista selkeästi, joten se pitäisi kompensoida esimerkiksi kumimatolla telaa pakattaessa. Tämän tarkastelun perusteella nähtiin myös, että suuremman kokoluokan pukkiin tuli kasvattaa pohjalevyn mitta 40 mm, jotta se toimisi puskurina ennen akselitappia.

Kuljetusalusta vaatii toimiakseen juuri mainittujen mekanismien uudelleen suunnittelua, tai irrottamista kuljetuksen ajaksi. Osa niistä voidaan asettaa siten, etteivät ne törmää kuljetusalustan pystylevyyn, kun pääty siirretään sisimpään asentoonsa. Mekanismien irrottaminen ja uudelleen asentaminen ei kuitenkaan ole vaikeaa eikä siihen kulu juuri aikaa.

### **Lujuustarkastelu**

Lujuustarkastelu suoritettiin CATIA V5R21 ohjelmistoa käyttäen. Kuormiksi valittiin luvussa 3.1 esitetyt voimat, ja reunaehdot valittiin kutakin tilannetta vastaavaksi. Varmuuskertoimena käytettiin nostotilanteessa arvoa 2, muiden tilanteiden varmuuskertoimen ollessa 1,6. Pienemmälle kuljetustuella valittiin telan massaksi 40

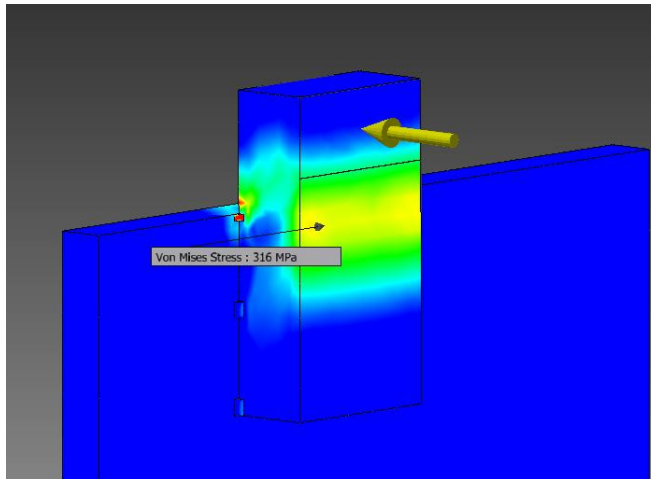
000 kg ja isommalle 70 000 kg. Tarkempi lujuustarkasteluraportti löytyy liitteestä 2. Huomionarvoista on, että tätä lujuustarkastelua tehdessä ei pumppukärryn nostokohtia ollut, mutta niiden lisääminen ei kuitenkaan vaikuta lujuutta heikentävästi.

Kuten lujuustarkasteluraportistakin käy ilmi, kuljetusalusta kestää vaaditut kuormitukset. Paikallisia myötörajan ylityksiä ilmeni, mutta ne johtuivat enemmänkin FEM-ohjelmiston rajallisesta kapasiteetista kuin itse rakenteen lujuuden riittämättömyydestä. Näitä esiintyi joissakin terävissä kulmissa ja nurkissa.

Lujuustarkastelun avulla pyrittiin myös maksimoimaan rakenteen hyöty. Levynpaksuuksilla ja muotoilulla pyrittiin aikaansaamaan rakenne, joka pysyisi vaatimusten rajoissa jakaen kuormitusta mahdollisimman suurelle alueelle. Näin aikaansaatiin mahdollisimman kevyt rakenne, joka kuitenkin täyttää lujuusvaatimukset.

Kiilan kohdalla lujuustarkastelua tehtiin puolestaan monella tavalla, sillä kyseessä on turvallisuusnäkökulmasta katsottuna keskeinen komponentti. Aluksi kiilaa tarkasteltiin käsin laskemalla. Tämän perusteella saatiin alustavaa tietoa kiilan paksuudesta, jotta tiedettiin millaista kiilaa lähteä suunnittelemaan. Kiilan lujuuslaskujen (liite 3) perusteella 42 mm paksu ja 110 mm leveä kiila riittäisi ottamaan rasituksen vastaan laskujen mukaisessa tilanteessa.

Tämän jälkeen kiilaa tarkasteltiin Autodesk Inventor 2013 ohjelman lujuusanalyysillä, josta esimerkki löytyy kuvioista 24KUVIO 24. Tämän, sekä CATIA V5:n tulosten perusteella kiilan paksuudeksi valikoitui 55 mm.



KUVIO 24. Kiilan tarkastelua Autodesk Inventor 2013 -ohjelmistolla

### Nostokohdat pumppukärrylle

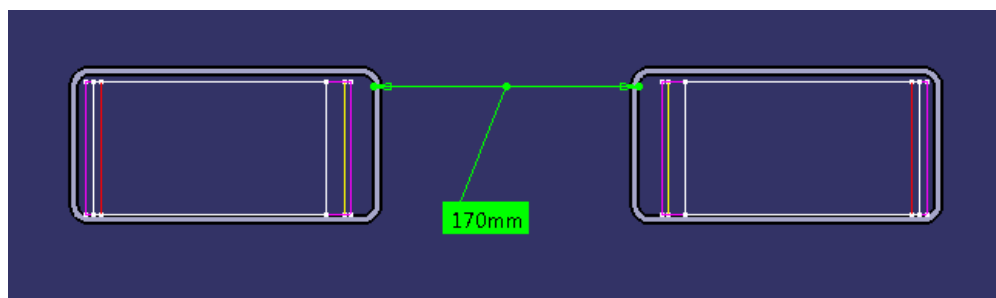
Kuljetustukiin haluttiin kohdat, joista sitä voisi ennen kuljetusalustan kokoonpanoa liikutella pumppukärryllä tai trukilla. Aiemmissa kuljetusalustoissa tähän oli käytetty joko sopivissa kohdissa olevia reikiä tai sopivasti paikoitettuja UPE270-profiileita.

Tutkimus kuitenkin osoitti, että ominaisuus oli mahdollista toteuttaa UPE270-profiilia kevyemmällä rakenteella. Kuviossa 25 on erivärisin suorakaitein merkitty viiden eri pumppukärrymallin piikkien uloimmat mitat ja paikoitus. Malleiksi valikoituivat:

- Toyota LHM230SI
- Panther E2581
- Rocla RHW22
- Macco BF
- Silverstone Q7712-900.

Selatessa muitakin kiinteäpiikkisiä pumppukärryjä, kokonaisleveys 520 mm ja alin korkeus 85 mm olivat yleisimmät mitoitus. Mittojen perusteella huomattiinkin,

että 200x100x5 suorakaideputkella pystytettiin sulkemaan kaikki tarkastellut mallit. Tämä suorakaideputken metripaino on 22,3 kg, kun UPE270-profiililla se on 35,2 kg (Kontino 2011). Lisäksi suorakaideputki viestittää heikomman näköisellä rakenteellaan, ettei näitä nostokohtia tule käyttää koko telan nostoon. Tämä varmistuu myös sillä, etteivät suorakaideputket todennäköisesti edes kestä koko telapakkauksen nostoa, vaan repeävät irti aiheuttamatta muuta vahinkoa.



KUVIO 25. Pumppukärryjen piikkien mitoitus ja 200x100x5 suorakaideputki.

### **Kaarien mitoitus ja mallinnus**

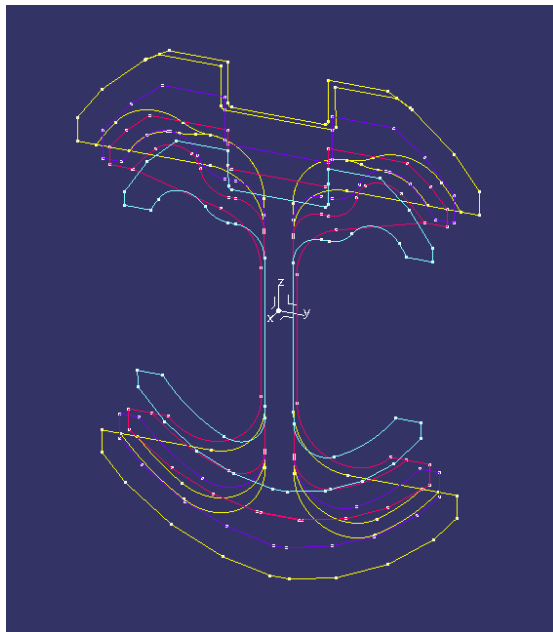
Koska kaaret asettuvat suoraan akselille, koottiin ensin kaikkien telakokojen akselien poikkileikkaukset yhteen. Nämä poikkileikkaukset kopioitiin suoraan telan layout-mallista ja muokattiin erivärisiksi selkeyden vuoksi. Poikkileikkaukset ovat nähtävillä kuviossa 26. Layoutista kopioidut mallit olivat:

- 1595\_SMALL
- 1595\_LARGE
- 1595\_XL
- 1425\_SMALL
- 1250\_SMALL



- 1250\_LARGE
- 1095\_SMALL

Näistä 1595\_XL jätettiin huomioimatta, sillä kaikki muut akselit ovat oleellisilta mitoiltaan kokoluokkakohtaisesti samoja. 1595\_XL on hieman muita saman kokoluokan poikkileikkauksia korkeampi, mutta tämä ei vaikuta kaarien asetteluun.



KUVIO 26. Akseleiden poikkileikkaukset

Tästä mallista koottiin parametrisointia varten olennaisimmat mitat yhteen taulukoon (liite 4), ja näiden mittojen avulla luotiin yhdellä kokoluokkaparametrilla ohjattava akseliprofiilin malli. Riippuen kokoluokasta, piti malliin ohjelmoida niin kutsuttu *rule*; pieni koodattu ohjelma, joka valinnoista riippuen ohjaa mallia tietyin määrittein. Kaaren mallissa tuo rule ohjaa akseliprofiilia ja päädyn kokoa, joiden perusteella ohjelma laskee soveltuvan kaarirakenteen. Kuviossa 26 on esimerkki erään kaaria mää-

rittävän rulen koodista, joka laskee kaarien lukumäärää laakerivälistä ja puumatosta riippuen.

```

/*-----Number_Of_Arcs-----*/

IF ('External Parameters\BEARING_DISTANCE' - 200mm) <= 'External Parameters\Max_Wood_Blank_Length'
{
    All_Arcs\Pattern_For_9_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_6_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_12_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_3_Arcs\Activity=true
}

IF ('External Parameters\BEARING_DISTANCE' -200 mm)>=('External Parameters\Max_Wood_Blank_Length' +1mm)
{
    All_Arcs\Pattern_For_3_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_9_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_12_Arcs\Activity=false
    All_Arcs\Pattern_For_6_Arcs\Activity=true
}

```

KUVIO 27. Otos erään kaaria määrittävän rulen koodista

### Lautamaton mallinnus

Telaa suojaavaksi materiaaliksi valikoitui lautamatto, jota saa Karhun (2013) mukaan edullisesti mittoihin valmistettuna. Se kiinnitetään teräskaariin erityisin Flygel-ruuvein, jotka asennettaessa poraavat puuhun vapaareiän, jonka jälkeen tekevät teräsosaan pienemmän reiän ja kierteen. Näin ollen asennusaikaa saadaan vähennettyä, ja sekä asennus että purkaminen ovat aiempaa helpompi suorittaa.

Parametreilla ohjattavan 3D-mallin tekeminen lautamatosta ei ollut helppoa. Vaikkei lautamatolla mallissa välttämättä ole muuta tarkoitusta kuin tuoda visuaalista ilmettä ja auttaa työpiirustusten tekemisessä, on mallin toimivuus siitä huolimatta tärkeää. Lautamaton ruleen sisällytettiin tieto siitä, lähteekö laudoitus yhdellä vai kahdella ylimmäisellä laudalla keskiliinjaan nähden, montako lautaa tarvitaan, mille sektorille

ne asettuvat ja miten paljon aloituskohtaa siirretään. Samoin malliin ohjelmoitiin automatiikka, joka laskee lautamattojen määrän sen mukaan, mikä koko laudoitetun suojan pituus on yksittäisen laudan maksimipituuteen nähden. Tuo maksimipituus on niin ikään valittavissa parametreista.

Lautamattoon lisättiin myös sen ympärysmitan helpon määrittämisen mahdollistava *sketch*, joka koostuu kahdesta kaaresta ja ne yhdistävästä janasta. Kokoluokkaparametria muutettaessa ne seuraavat lautamattoa, ja lautamaton ympärysmitta voidaan määrittää helposti työpiirustuksia varten.

### **Päädyn suojalevy**

Tässä vaiheessa saatiin ajatus myös telan päätyjen, ja sitä kautta myös pakkauksen sisäosien, suojaamiseksi telan pituussuunnassa tulevilta partikkeleilta. Lautamaton asennuksen jälkeen asennettaisiin puoliympyrän muotoiset vanerilevyt päädyn ja laakeripesän väliin siten, että halkaistulla sivulla on akselitappia mukaileva leikkaus, ja kaareva sivu kiinnitetään kulmaraudoin suoraan lautamattoon. Akselitapin reikää varten malliin luotiin oma kokoluokasta riippuva parametri, ja koko päädyn suojalevy yhdistettiin osaksi lautamaton 3D-mallia.

## **6.4 Kuljetusalustan tuotekehityksen viimeistely**

Edellisessä tuotekehityksen vaiheessa vietiin loppuun yksittäisten kuljetusalustan osien mallinnus ja parametrisointi. Viimeistelyvaihe puolestaan aloitettiin 3D-mallin kokoonpanon toimivuuden varmistamisella. Koko mallia pyrittiin ohjaamaan ainoastaan kahdella parametrilla: telan laakerivälillä ja kokoluokalla.

Jotta mallia saataisiin ohjattua yksiselitteisesti, luotiin sitä varten niin sanottu *skeleton* eli mallin osa, jolla ei ole muuta tarkoitusta kuin ohjata muiden osien geometriaa ja paikoitusta. Pääasiallisiksi parametreiksi asetettiin laakeriväli (BEARING\_DISTANCE) ja kokoluokka (ROLL\_DSIZE). Näiden rinnalle luotiin hienosäätöä varten parametrin,

joilla ohjataan lautamaton lautojen maksimipituutta, sekä kuljetuspukin ja ensimmäisen tukikaaren paikkaa laakerin keskilinjalta.

Parametrien lisäksi skeletoniin luotiin asemoituja akselistoja (*axis system*), jotka yhdessä ohjausparametrien kanssa saatettiin tilaan, jossa mallin osien välille saatiin luotua linkkejä. Luotuihin akselistoihin voitiin nyt kiinnittää oikeat osat, ja parametreja muuttamalla paikoittaa osat halutulla tavalla.

Mallin toiminnan vuoksi myös sen osiin jouduttiin tässä vaiheessa muokkaamaan ruleja ja kaavoja. Näitä ohjataan skeletonista linkitetyillä parametreilla, joiden perusteella osien sisäisesti lasketaan geometria- ja paikkatietoja. Lähinnä muokkaaminen sisälsi ulkoisten linkkien vientiä kaavojen sisälle.

### **Kuljetusalustan työpiirustukset**

Työpiirustusten osalta päätettiin toimia hieman eri tavalla, kuin SymBelt-osastolla on aiemmin toimittu. Kuljetustuista tehtäisiin kaksi standardikuvaa, ja vaneripäädyistä sekä tukikaarista kokoluokkakohtaiset standardikuvat. Kokoonpanoa projektille tehtäessä valittaisiin kokoonpanopiirustukseen oikea osaluettelo vastaten kokoluokkaa, ja osien valmistajalle lähetettäisiin ainoastaan oikeat standardiosien työpiirustukset sekä lautamaton työpiirustus. Tämä edellyttää sopivien malliosaluetteloiden laatimista Metson PDM (Product Data Management System) järjestelmään, jotta hankinta osaa tilata oikeat osat. Kokoonpanopiirustus puolestaan olisi ainoastaan Rautpohjassa tapahtuvaa kokoonpanoa varten.

Mitä tällä järjestelyllä sitten saavutetaan? Käytetyn VPM-järjestelmän ja 3D-ympäristön kanssa työskentely helpottuu merkittävästi. Projektille viedyn parametrisen kokoonpanomallin käyttö on helppoa, ja se päivittää automaattisesti osien määrät ja painot kokoonpanokuvaa varten. Näin kaikki eri variaatiot ovat yhden mallin sisällä hallittavissa kahdella parametrilla, ja laaditut esimerkkiosaluettelot PDM-järjestelmässä pitävät huolta oikeiden standardiosien käytöstä. Standardiosien työ-

piirustusten laatiminen ja hallinta onnistuu puolestaan kytkemällä kyseessä olevasta osasta monistavat elementit sekä linkit pois päältä, ja tekemällä työpiirustus tälle osalle.

## 6.5 Ohjeiden laatiminen

Ohjeet, joihin perehtyminen tämän opinnäytetyön tiimoilta koettiin tarpeelliseksi, tarkentuivat nosto- ja sidontaohjeeseen, sekä kuljetusalustan suunnitteluun liittyvien seikkojen koontiin. Näiden lisäksi opinnäytetyön toimeksiantajalle tehtävässä esityksessä käydään läpi malliin, työkuviin ja hankintaan liittyvät ohjeistukset suullisesti läpi asianomaisten kanssa.

SymBelt-osaston pääsuunnittelija Jokelan kanssa ohjeistuksia pohdittaessa tultiin tulokseen, ettei ole syytä poiketa aiemmasta toiminnasta ohjekuvien laadun eikä käytön osalta. Nosto- ja sidonta ohjeeseen lisätään Huumarkankaankin (2013) esille tuoma lähetyksen massa, mutta lähetyksen ulkomitat ja painopisteen paikoitus tehdään edelleen lähettämällä tätä varten tehty projektikohtainen kuva lähettämölle. Tämä on perusteltua, koska kuljetuksen tilaamisen yhteydessä tiedetään kollin päämitat projektikohtaisesta kuvasta, ja nostoja varten tarvitaan ainoastaan nosto-ohje sekä kollin massa.

Painopisteen merkintää ei puolestaan Jokelan kanssa nähty tarpeelliseksi SymBelt-telan yhteydessä ilmoittaa. Muilla telatyypeillä noston tapahtuessa suoraan vaipalta, on painopisteen merkitys tärkeä, mutta nostettaessa ja sidottaessa kiinteistä pisteistä ei painopisteellä ole merkitystä.

Nosto- ja sidontaohjeeksi nähtiin parhaaksi ratkaisuksi käyttää samaa projektista riippumatonta kuvaa, joihin lisätään kollin massa sille varatulle paikalle käsin. Näin ollen kuvia voi tulostaa valmiiksi pakkausta varten, eikä niiden hallinnointiin tarvita

erillistä impulssia tai henkilöresursseja. Varsinaisen kuvan luominen päätettiin jättää myöhemmin tehtäväksi käytettävissä olevien resurssien vuoksi.

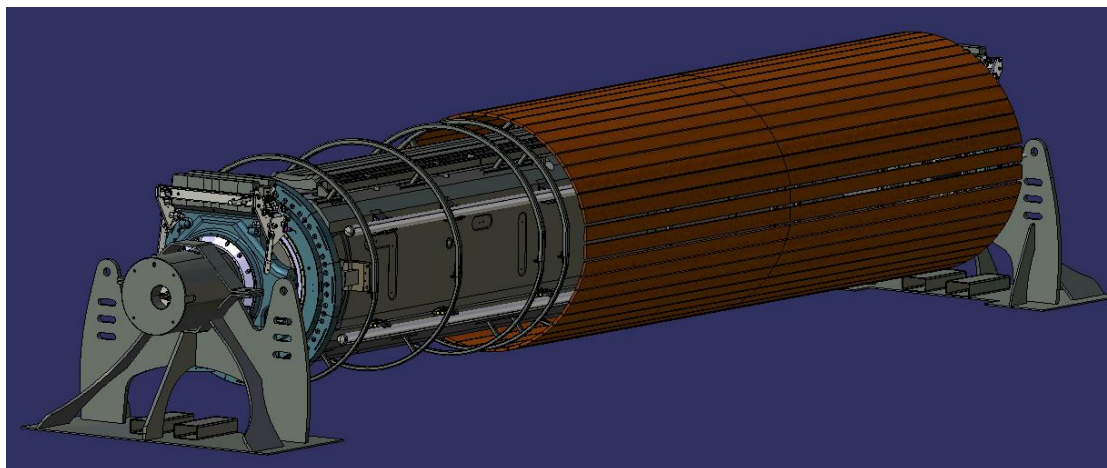
### **Kuljetusalustan suunnitteluun liittyvät koonnit**

Tämä opinnäytetyö sisältää tarvittavat tiedot ja ohjeet kuljetusalustan suunnitteluun ja kuljetukseen. Tästä syystä nähtiin järkeväksi viedä opinnäytetyö Metson Notes-tietokantaan, jakaen se kappalekohtaisiin osioihin. Näin jaoteltuna opinnäytetyöstä on alkutilanteessa näkyvissä ainoastaan kuvaavat otsikot, joita näpäyttämällä pääsee käsiksi sisältöön. Käyttö on helppoa ja nopeaa, ja kaikki materiaali löytyy koottuna yhdestä paikasta.

## **7 TULOKSET**

### **7.1 SymBelt-kuljetusalusta**

Työn tuloksena saatiin sekä uudelle että vanhalle telarakenteelle sopiva kuljetusalusta, joka täyttää kansainvälisten kuljetusten sekä nostojen vaatimukset. Se on helppo ja nopea soveltaa uudelle projektille, joten säästöä suunnitteluajassa on odotettavissa. Lisäksi fyysinen kuljetusalusta on helppo kokoonpanna sekä purkaa, ja se suojaa telaa kuljetuksessa mahdollisesti aiheutuvia iskuja vastaan. Kuviossa 28 on esitettynä tuloksena saatu kuljetusalusta SymBelt-telan kanssa. Kuviossa näkyvää kuljetusalustan lautamattoa on lyhennetty, jotta tukikaaret ovat paremmin näkyvissä.



KUVIO 28. Lopullinen kuljetusalusta

Karhun (2013) esille tuoman arvioidun teräsrakenteen kilohinnan, sekä lautamaton neliöhinnan perusteella isoimman SymBelt-kuljetusalustan hinnaksi tulee n. 26 % asetettua rajaa halvempi. Isoimman D1250 telan kuljetusalusta on kustannusarvion perusteella puolestaan n. 42 % vaatimuslistassa esitettyä maksimihintaa halvempi. Kustannusarvio löytyy liitteestä 5. Mikäli kehitetyn kuljetusalustan kustannuksia verrataan esimerkiksi Sym-telojen käyttämään suurimpaan kuljetusalustaan, on kehitetty kuljetusalusta kustannusarvion perusteella karkeasti puolet halvempi. Sym-telan kuljetusalustan kustannukset poimittiin Metson GST-järjestelmästä vertailua varten.

### **Telaan tarvittavat muutokset**

Jotta kuljetusalusta saadaan toimimaan telan kanssa täydellisesti, pitää telaan tehdä joitain muutoksia. Suurin muutos liittyy akselitapeilla oleviin kiilauriin. Näistä kiilaurista on laakeripesästä riippuen joko ylimmässä tai alimmassa pisteessä oleva ura tarkoitettu momenttikiilalle. Koska kuljetusalusta hyödyntää samaa uraa, täytyy molemmat kiilaurat koneistaa momenttikiilauran kaltaisiksi. Tähän ei ole nähty liittyvän ongelmia, mutta se vaatii telan kääntämiseen liittyvän pysäyttimen uudelleensuunnittelua, jotta pysäytin käy isompaan uraan. Muutosten jälkeen pystytään paineken-

gänpuoleisella kiilalla varustetut telat kuljettamaan momenttikiila kiinnitettynä, ja paineikenkään nähden vastakkaisella puolella olevalla momenttikiilalla varustetut telat momenttikiila irrotettuna, käyttäen kuljetustuen kiilaa laakeripesän lukitsemiseen. Kiilaurien lopullisen syvyyden selvittyä tulee kuljetusalustan kiilan pituus määrittää sopivaksi.

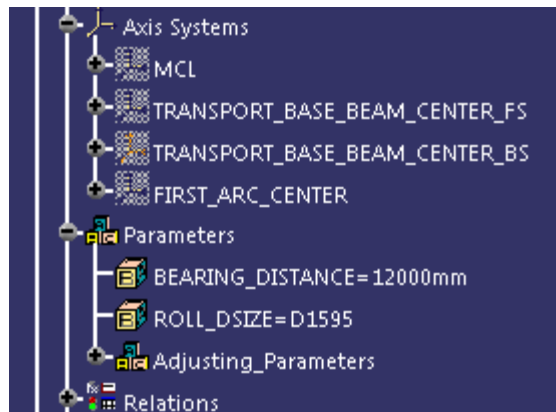
Törmäystarkastelussa selvinneet päädyn pysäyttimien ongelmat ratkeavat irrottamalla pysäyttimet kuljetuksen ajaksi. Ne voidaan toimittaa asiakkaalle esimerkiksi telan mukana muutenkin toimitettavassa aputyökalulaatikossa, eikä niiden irrottamiseen ja asennukseen tarvita juuri resursseja. Päädyn akselin suuntaiseen paikoitukseen tarkoitetut mekanismit tulee säätää kuljetuksen ajaksi sisimmäiseen asentoon.

Telan pakkaamisen ja kuljetusalustalle asentamisen yhteydessä akselitapeille tulee asettaa kumimatot. Hoitopään puolelle käy esimerkiksi 10 - 15 mm paksu kumimatto, kun taas käyttöpäähän asetettavan maton täytyy olla 10 mm hoitopään kumimattoa paksumpi. Tämä johtuu käyttöpäässä olevasta telan nostoa varten tehdystä urasta. Matto tuleekin asettaa juuri tähän uraan.

## **7.2 Parametrinen 3D-malli ja työpiirustukset**

Kuljetusalustan 3D-mallista saatiin erittäin helppokäyttöinen. Kun kokoonpanoon viedystä skeletonista säädetään projektille tiedossa olevat kaksi arvoa, laakeriväli ja kokoluokka, päivittyy kuljetusalustan kokoonpano vastaamaan projektia. Nämä parametrit ovat kuvattuna kuviossa 29. Malleihin sisällytettiin myös säätöparametreja, joilla voidaan tarvittaessa hienosäätää osien paikoitusta. Nämä helpottavat tulevaisuudessa mallin mahdollisia päivityksiä, mutta eivät ole tarpeen normaalissa käytössä.





KUVIO 29. Kuljetusalustan 3D-mallin ohjauksen kaksi parametria

Kuljetustuista, vaneripäädyistä ja tukikaarista voidaan tehdä standardiosat, joille ei tarvitse tehdä projektikohtaisia työpiirustuksia. Kokoonpanon työpiirustukseen lisätään oikeat standardiosat sisältävä kokoluokkakohtainen osaluettelo, johon muutetaan ainoastaan määrät. Näin pystytään säästämään projektille menevää työaikaa.

Jotta kuvia ja malleja voidaan käyttää edellä mainitulla tavalla, täytyy Metson käyttämään PDM-järjestelmään luoda malliosaluettelot, jotka päivitetään projektikohtaisesti. Näin tiedetään, mitkä osat alihankkijalta tilataan.

### Ohjeet ja merkinnät

Nosto- ja sidontaohje päätettiin tehdä aiempien ohjeiden kaltaiseksi. Muutoksena edellisiin on ainoastaan kohta, johon voidaan käsin lisätä projektikohtaisen kollin massa. Painopisteen ja kollin ulkomittojen merkitsemiseen ei nähty tarvetta, sillä erikseen toimitettavassa projektikohtaisessa kuljetuskuvassa nämä tiedot ovat saatavilla. Ohjeen, kuten työpiirustustenkin, varsinainen laatiminen päätettiin jättää resurssien vuoksi tulevaisuuteen.

Tämä opinnäytetyö on viety sähköisenä Metson Notes-tietokantaan, jossa se on muokattu sähköistä käyttöä ajatellen helppolukuiseksi. Näin pystytään tehokkaasti hyödyntämään esimerkiksi kerätty teoria kuljetusalustan suunnittelua koskien. Opinnäytetyön voidaankin katsoa olevan "kuljetusalustan suunnitteluohje".

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Nykyään yrityksien kilpailukyvyn kannalta kustannusten vähentäminen on avainasemassa. Tämän opinnäytetyön tuloksena saatu kuljetusalusta onkin erittäin kustannustehokas kokonaisuus, joka omalta osaltaan edesauttaa tämän kilpailukyvyn säilyttämistä. Toki on muistettava, että puhuttaessa paperikoneista, on telojen kuljetusalustojen kustannuksilla selvästi itse teloja ja muita komponentteja pienempi vaikutus - mutta vaikutus kuitenkin.

Kustannusarvion mukaan tuloksena saatu kuljetusalusta on valmistuskustannuksiltaan selkeästi edullisin kuljetusalustatyyppeistä, mitä SymBeltillä on käytetty, ja esimerkiksi Sym-telojen käyttämään kuljetusalustaan nähden noin puolet halvempi. Koska myös kuljetusalustan projektikohtainen suunnittelu on saatu nopeammaksi ja tehokkaammaksi, lisää tämä kustannustehokkuutta entisestään. On kuitenkin muistettava, että hinnat perustuvat arvioihin, ja esimerkiksi alihankkijasta riippuen kustannukset voivat liikkua suuntaan tai toiseen.

Koska lautamattoja lukuun ottamatta kaikki osat ovat projektikohtaisuuden sijasta kokoluokkakohtaisia, on niitä mahdollisuus tilata isompi erä ja varastoida esimerkiksi Rautpohjan ulkovarastoihin. Näin tilausten eräkokoja on mahdollista kasvattaa, ja tälläkin tavoin voidaan saada myönteistä vaikutusta kustannuksiin. Varastointinäkökulmaa on pidetty mielessä myös materiaalivalinnoissa, sillä teräsosat pysyvät kelpoisina olosuhteista riippumatta.

Myös materiaalivalintojen ja muotoilun kautta saatu optimointi on onnistunutta. Ratkaisut on mietitty lujouden kannalta optimoiduiksi, eikä "kuollutta painoa" kuljetusalustassa juuri esiinny. Tästä on hyötyä erityisesti osien käsittelyssä, mikä onkin ollut yhtenä peruslähtökohtana asennettavuusmyönteisyyden tiimoilta. Raskaiden osien liikuttelu on mahdollista joko pumppukärryn tai nosturin avulla, ja käsin liikuttavien osien paino on pyritty pitämään alhaisena.

### **Telatyyppien kuljetusalustojen yhtenäistäminen**

Koska kuljetusalusta ei riipu telan muista ominaisuuksista kuin akselitappien ja kii-laurien dimensioista, saattaa sen käyttö muilla telatyypeillä, kuten Sym-teloilla, olla hyvinkin yksinkertaista. Tätä mahdollisuuden tutkimista ei tähän opinnäytetyöhön voitu resurssien takia sisällyttää, mutta se on ehdottomasti lisätutkimuksen arvoinen asia. Mikäli kuljetusalustasta saisi pienin muutoksin useille telatyypeille sopivan ratkaisun kustannusten pysyessä alhaisina, voitaisiin yhtenäistämällä saavuttaa hyvin-kin merkittäviä etuja. Suunnittelun, kokoonpanon ja varastoinninkin osalta voitaisiin yhtenäistää työtapoja ja tätä kautta nostaa työtehokkuutta ja työn laatua.

### **Master-mallin käyttö suunnittelussa**

Toistuvissa samantyyllisissä projekteissa pyritään hyödyntämään aiemmin opittu ja tehty mahdollisimman tehokkaasti, jotta työn määrää pystyttäisiin minimoimaan. Joskus tällä toiminnalla on kuitenkin myös kääntöpuolensa. Mikäli jatkuvuutta projektilta toiselle tehostetaan liikaa, kenties jopa vain muokaten kopioidaan jokin vanhempi projekti uuden luomiseksi, kulkevat mukana myös aiempiin projekteihin jääneet virheet.

Tämän ongelman ratkaisemiseksi on tärkeää pyrkiä käyttämään niin sanottua master-mallia, josta projektikohtaiset alikokoonpanot tai osat lähdetään suunnittelemaan. Mikäli muutoksia tarvitaan, ne voidaan tehdä suoraan master-malliin, eivätkä ongelmat siirry enää seuraaviin projekteihin.

Kuljetusalustan malli on rakennettu juuri tätä silmällä pitäen. Sen projektikohtainen muokkaaminen on tehty erittäin helpoksi, joten ei ole syytä kopioida aiempien projektien kuljetusalustoja eteenpäin. Näin minimoidaan ongelmien riskit, sekä ongelmien ratkaisuun kuluva suunnittelu-aika.

### **Työn lyhyt arviointi**

Tässä opinnäytetyössä pääosassa oli tuotekehitys. Sen teoria pystyttiin hyödyntämään tehokkaasti, mikä puolestaan edesauttoi kuljetusalustan kehitystyössä suuresti. Lisäksi opinnäytetyössä päästiin käyttämään uusien työtapojen ohella myös useita suunnittelun työkaluja. Näistä merkittävimpinä voitaisiin mainita suunnitteluohjelmistojen erilaiset ominaisuudet ja niihin tutustuminen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää SymBelt-osastolle uusi kuljetusalusta vastaamaan heidän ajankohtaista tarvettaan. Kustannuksiltaan alhaisen kuljetusalustan tuli soveltua kansainväliseen kuljetukseen kaikille tämänhetkisille SymBelt-teloille. Lisäksi sen vieminen projekteihin tuli olla helppoa, kuten sen 3D-ympäristössä muokkaaminenkin. Näihin tavoitteisiin päästiin erinomaisin tuloksin.

Kokonaisuutena opinnäytetyö oli vaativa, ja sen toteuttamiseen tarvittiin rutkasti luovuutta. Kustannusten leikkaaminen jo ennestään edullisesta kuljetusalustamallista vaati uudenlaista ajattelua ja vahvaa rakenteellista optimointia. Työn voisikin sanoa onnistuneen erinomaisesti jättäen sijaa myös jatkokehitykselle esimerkiksi telatyypien yhtenäistämisen merkeissä. Työskentely SymBelt-kuljetusalustan parissa oli antoisaa ja vahvisti ammatillista osaamistani merkittävästi. Voinkin hyvällä omalla tunnolla sanoa olevani tuotekehityksen tuleva ammattilainen!

## LÄHTEET

Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M. & Välimaa, V. 2010. Koneenosien suunnittelu. 4.-5. p. Helsinki: WSOYpro.

Akin, J. E. 2005. Finite Element Analysis with Error Estimators: An introduction to the FEM and Adaptive Error Analysis For Engineering Students. Viitattu 30.3.2013.  
<http://www.jamk.fi/kirjasto>, Ebrary eBook Collection.

Container Specification. 2010. Hapag-Lloyd Brochure. Viitattu 8.3.2013  
[http://www.hapag-lloyd.com/downloads/press\\_and\\_media/publications/Brochure\\_Container\\_Specification\\_en.pdf](http://www.hapag-lloyd.com/downloads/press_and_media/publications/Brochure_Container_Specification_en.pdf).

Coyle, J., Bardi, E., & Novack, R. 1999. Transportation. 5. p. USA: R. R. Donnelley & Sons Company.

Huumarkangas, J. 2013. Shipping engineer Metso Paper Oy. Haastattelu 7.3.2013.

Hägglom-Ahnger U. & Komulainen P. 2006. Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

International Maritime Organization. 1997. IMO/ILO/UN ECE Guidelines for packing of cargo transport units (CTUs). Lontoo: International Maritime Organization.

Juhala, J. 2012. Kokous kuljetusalustan CE-merkintää koskien. 26.10.2012. Metso Paper Oy, Rautpohja.

Karhu, J. 2013. Hankintainsinöörin haastattelu, Metso Paper Oy. 19.3.2013.

Kettunen I. 2001. Muodon palapeli. 1. p. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Kontino. 2011. Kontinon sähköinen tuoteluettelo. Viitattu 28.3.2013.

<http://julkaisin.plusverkot.fi/kontino/2011/01/>.

Koro, L. 2013. Shipping engineer, Metso Paper Oy. Haastattelu 13.3.2013.

Maersk line equipment guide. n.d. Kuljetusväline-esite. Viitattu 13.3.2013

<http://www.maerskline.com/globalfile/?path=/pdf/containerDimensions>.

Metso - Valmiina tulevaan. 2012. Metson yleisesitys. Viitattu 30.3.2013.

[http://www.metso.com/corporation/about\\_eng.nsf/WebWID/WTB-080921-2256F-817B2/\\$File/metso-general-presentation-FINNISH.pdf](http://www.metso.com/corporation/about_eng.nsf/WebWID/WTB-080921-2256F-817B2/$File/metso-general-presentation-FINNISH.pdf).

Metso lyhyesti. 2013. Artikkelit Metso Oyj:n Internet-sivulla. Viitattu 30.3.2013

[www.metso.com/fi/](http://www.metso.com/fi/), metso yrityksenä, metso lyhyesti.

Nostolaitteiden lujuuslaskenta. 2010. Metso instructions. Metson Notes-

tietokannassa. Viitattu 13.3.2013.

Onnela, J. 2010. Symbelt-telan pakkausohje. Metson Notes-tietokanta. Viitattu

13.3.2013.

Pahl G. & Beitz W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. 2. p. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset.

Rautpohjan perehdyttämisopas. n.d. Vuoden 2010 tietoihin perustuva Metson Rautpohjan tehtaan esittelylehtinen.

SFS-EN 12640. 2001. Kuorman kiinnitys ajoneuvoissa. Kuorma-autojen ja perävaunujen kuormansidontapisteet. Minimivaatimukset ja testaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 18.2.2013. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

SFS 2815. 1985. Tavaralähetysten merkitseminen. 3. p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 18.2.2013. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

Shigley, J., Mischke, C. & Budynas, R. 2004. Mechanical Engineering Design. 7. p. Singapore.

SymBelt roll. 2006. SymBelt-telan markkinointimateriaali. Viitattu 10.3.2013. [http://www.metso.com/MP/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-060925-2256E-371A1/\\$File/PM060925\\_SymBelt\\_roll\\_flyer.pdf?OpenElement](http://www.metso.com/MP/marketing/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-060925-2256E-371A1/$File/PM060925_SymBelt_roll_flyer.pdf?OpenElement).

Tietilasto 2011. 2012. Liikenneviraston tilastoja 8/2012. Viitattu 8.3.2013. [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti\\_2012-08\\_tietilasto\\_2011\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2012-08_tietilasto_2011_web.pdf).

Tullihallitus. 2011. Ulkomaankaupan kuljetukset vuonna 2010. Viitattu 8.3.2013. [http://www.tulli.fi/fi/suomen\\_tulli/ulkomaankauppatilastot/tilastokatsaukset/muut\\_katsaukset/vuodet/liitteet/Muut\\_2011.pdf](http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/ulkomaankauppatilastot/tilastokatsaukset/muut_katsaukset/vuodet/liitteet/Muut_2011.pdf).

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2003. Product design and development. 3. p. Singapore.

Young, H. & Freedman, R. 2004. University Physics. 11. p. USA: R. R. Donnelley & Sons.

## **LIITTEET**

### **Liite 1. SymBelt-kuljetusalustan vaatimuslista**

Poistettu julkisesta raportista.



## **Liite 2. Lujuuslaskentaraportti**

Poistettu julkisesta raportista.

### **Liite 3. Kiilan lujuuslaskenta Mathcad -ohjelmistolla**

Poistettu julkisesta raportista.

**Liite 4. Parametrien arvot kaarien ohjaukseen**

Poistettu julkisesta raportista.

**Liite 5. SymBelt-telan kuljetusalustan kustannusarvio**

Poistettu julkisesta raportista.